المكتبة الثقافية

٤٧

من الذرة إلى الطاقة

الدكتور جمال الدين نوح

١٥ أكتوبر ١٩٦١

المكتبة الثقافية

- أول مجموعة من نوعهـا تحقق اشتراكية الثقافة .
- تيسر لكل قارىء ان يقيم فى بيته مكتبـة جامعة تحوى جميع ألوان المعـرفة باقلام أساتذة متخصصين وبقرشين لكل كتاب .
- تصدر مرتين كل شهر . فى أوله وفى منتصفه

الكتاب القادم

نظرات
في أدبنا المعاصر

الدكتور زكي المحاسني

أول نوفمبر ١٩٦١

الثمن ٢ مـ

دار القلم بالقاهرة

المكتبة الثقافية
٤٧

من الذرة إلى الطاقة

الدكتور جمال الدين نوح

وزارة
الثقافة والإرشاد القومي
الإدارة العامة للثقافة

١٥ أكتوبر ١٩٦١

الناشر

دار القلم

١٨ شارع سوق التوفيقية بالقاهرة

ت ٥٥٠٣٢ — ٧٧٧٤١

الذرة والكهرباء

الذرة ترجمة لكلمة إغريقية قديمة تؤدى معنى عدم الانقسام ، وهى كلمة أتوم ، عرفها القدماء بأنها الجزء الذى لاينقسم — واعتبروا الذرات كرات صغيرة مرنة وعرفوا منها أكثر من تسعين نوعا تتكون منها جميع المواد — ولكن هذا التعريف البسيط لم يعد صالحا فى الوقت الحاضر — فقد عرفت حديثاً ظواهر لاتتفق مع هذا التعريف الذى يفترض وجود كرات صغيرة غير قابلة للانقسام تختلف فى الحجم والوزن وربما فى خواص المرونة ، وهذه الاختلافات لاتعطينا مادة كافية لشرح التأثيرات الضوئية الكهربائية ، فلنحطم هذه الذرة لنرى ما بداخلها ، هذه هى الطريقة لمعرفة تركيبها — إذا استطعنا تحطيمها فقد نجحنا وإلا بقيت الذرة لغزا صعب الحل .

لنتصور أننا استطعنا اقتحام هذه الذرة وأننا نقوم برحلة إلى أعماقها لنتعرف إليها فماذا نرى ؟

سوف نصطدم أول الأمر بالطبقة الخارجة للذرة ،

وهى الطبقة التى تحتوى على وحدات من الكهرباء تسمى بالالكترونات ، ورغم أن الكل يعرف الكهرباء ويعرف الالكترون إلا أن التعريف المجرد لأيهما من أصعب الأمور وتلزم لشرحهما بعض الأمثلة ، ولنأخذ البطاريات كمثل من أمثلة مصادر الكهرباء . ومن البطاريات المعروفة بطاريات السيارات ، وتحتوى على طرفين أحدهما أحمر اللون والآخر أسود ، ويمكن أن نتبين الغرض من وضع هذين اللونين إذا حاولنا توصيل دائرة كهربائية تحتوى هذه البطارية — فان الكهرباء الموجبة تسرى من الطرف الأحمر إلى الطرف الأسود أو بعبارة أخرى الكهرباء السالبة تسرى من الطرف الأسود إلى الطرف الأحمر أى فى الاتجاه المضاد ، ولو أن سلكا وصل بين طرفى البطاريات الأحمر والأسود لظهرت شرارة كبيرة قد تصهر السلك وتسخنه لدرجة لاتحملها يد الإنسان .

ومعنى هذا أننا افترضنا وجود نوعين من الكهرباء ، نسميهما كهرباء موجبة وسالبة ، وهذان النوعان من الكهرباء يمكن إثبات وجودهما بتجارب تشرح للطلبة فى المدارس ، التجارب التى تعتمد على قضبان الزجاج التى تدلك بالحرير وبالفرو ، وسمى نوعا الكهرباء بالموجبة والسالبة تسمية تدل بسهولة

على أن لهما صفات مشتركة ، فمثلا الكهرباء الموجبة تجذب الكهرباء السالبة ويذكرنا هذا بقواعد الجبر المعروفة ، فلو جمعنا + ١٠ ، — ١٠ لأصبح الناتج صفرا ، كذلك ١٠ وحدات من الكهرباء الموجبة ، ١٠ وحدات من الكهرباء السالبة مجموعها صفر .

ومرور الكهرباء فى سلك كهربائي يعبر عنه بالتيار الكهربائى ، والتيار الكهربائى يحدث بعض التأثيرات منها التأثير الحرارى ، ومنها الضوئي ومنها المغناطيسى والميكانيكى والكيميائى ، ويستخدم التيار الكهربائى فى تسخين سلك داخل مصباح كهربي إلى درجة التوهج فيضيء ، ويستخدم فى إدارة الموتورات بتأثيره المغناطيسى ، ويستخدم فى تحليل السوائل تحليلا كيمائيا .

التحليل الكهربائى :

لنفرض أننا وضعنا محلولا ضعيفا من كبريتات النحاس الزرقاء فى كأس زجاجى ثم وضعنا فى المحلول لوحين من النحاس غير متصلين ببعضهما وإنما يتصلان بطرفى البطارية ، فبعد مرور التيار مدة من الزمن نجد أن أحد اللوحين قد زاد وزنه واللوح

الآخر نقص وزنه وأن النقص فى أحدهما يساوى الزيادة فى الآخر ، ومعنى ذلك أن التيار الكهربائى قد أزاح كمية من النحاس خلال المحلول من أحد اللوحين إلى الآخر حيث ترسب عليه ، وتسمى هذه العملية بالتحليل الكهربى ، وتستخدم هذه الطريقة فى الصناعة فى تحضير المعادن النقية وكذلك فى طلاء المعادن .

والأمر الذى يهمنا فى هذه العملية هو كيفية انتقال النحاس خلال المحول ، وهنا نلاحظ أن من شروط حدوث هذه العملية ألا يكون المحلول ماء نقيا ، بل يلزم أن تذاب فيه كمية من مادة كياوية ، ومن الملاحظ أن كمية النحاس المترسبة على أحد اللوحين لم تأت من المحلول وإنما انتقلت إليه من اللوح الآخر لأن درجة تركيز المحلول لم تتغير كما أن كمية المادة المترسبة تتناسب مع شدة التيار فهى إذن تتناسب مع كمية الكهربية التي تسرى داخل الإناء الزجاجى .

أليس معنى هذا أن ذرات النحاس المنتقلة فى المحلول تحتوى على كمية معينة من الكهرباء ؟ أى أن كل ذرة من النحاس تترسب على لوح النحاس تكون قد حملت معها عدداً ثابتاً من وحدات الكهرباء .

هذا الرأى قد تم الوصول إليه تفصيلا ويعد اساساً لتفسير ما عرف عن التحليل الكهربي والتوصيل الكهربى .

وتسمى الذرات المشحونة بالكهرباء بالأيونات وكمية الكهرباء التى يحتويها جرام من الأيدروجين تسمى الفاراداى ، وهذا هو اسم العالم الذى اكتشف قوانين التحليل الكهربى والفاراداى هو شحنة أيونات الأيدروجين فى وحدة الكتلة أو الشحنة النوعية فى جرام الأيدروجين الذى يحتوى على عدد من الذرات يساوى ٦ × ١٠^٢٣ .

أشعة المهبط :

وإن كان هذا الاتجاه فى التفكير يلقى ضوءا على أصل الكهرباء إلا أن البحث في الأشعة التي تخرج من الطرف المتصل بالقطب السالب عند مرور التيار في أنبوبة زجاجية بها غاز مخلخل يفيد في شرح الموضوع ، وهذه الأشعة تسمى أشعة المهبط وتحمل كهرباء سالبة ، وقد أمكن تعجيل هذه الأشعة وتقصيرها وجعلها تنحرف عن مساراتها .

وقد أمكن قياس الشحنة النوعية لأشعة المهبط وبمقارنتها

بالشحنة النوعية لأيونات الأيدروجين وجد أنها تكبرها بمقدار ١٨٤٠ .

ولما كانت الشحنة النوعية هى النسبة بين الشحنة والكتلة فإننا نستنتج من ذلك أحد أمرين ، إما أن شحنة أشعة المهبط أكبر من شحنة أيون الأيدروجين أو وزن أيون الأيدروجين أكبر من وزن أشعة المهبط ، وأن مقدار الشحنة واحد في الحالتين ، إلا أنه ثبت أن شحنة أشعة المهبط سالبة حيث أنها تنبعث من القطب السالب وقد تحقق العلماء من ذلك بإجراء تجارب على هذه الأشعة وثبت أن مادة الراديوم تنبعث منها إشعاعات متشابهة ، وتسمى أشعة البيتا ، ولها نفس خواص أشعة المهبط .

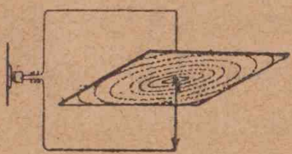
الكتلة تتغير مع السرعة :

وعند قياس سرعة هذه الجسيمات نجد أن الشحنة النوعية تتغير مع السرعة فتزيد إذا نقصت السرعة وتنقص إذا زادت السرعة وليس معقولا أن تتغير الشحنة مع السرعة ولذا لزم أن نتصور أن الكتلة تتغير مع السرعة حيث أن الكتلة هى الشىء الذى يقاوم العجلة ويجب أن تزداد إذا ازدادت السرعة . . .

والنتيجة غريبة وقد ثبت صحتها ، وثبت بالتجربة أن الكتلة تزداد بزيادة السرعة وأن هناك علاقة رياضية تنظم هذه الزيادة .

المجال المغناطيسى فى الذرة :

وبنظرة عالم الطبيعة الفاحصة وجد أن بالذرة مجالا مغناطيسيا يتكون فيها عندما تبدأ الحركة والكثير منا يعرف تجربة برادة الحديد التي توضع على قطعة من الورق فوق قضيب مغناطيسى فتتفرق البرادة فى شكل منتظم وترتب نفسها في خطوط تسمى خطوط القوى مما يبين كيفية توزيع القوى المغناطيسية مقدارا واتجاها فسير هذه الخطوط قريبة بعضها من بعض دلالة على قوتها ، وعندما تسير متباعدة تدل على أنها ضعيفة ، ويمكن ملاحظة تكون مجال مغناطيسى حول سلك يحمل تيارا كهربيا (شكل ١) وقد كان هذا اكتشافا عظيما للعالم أويرستد الذى



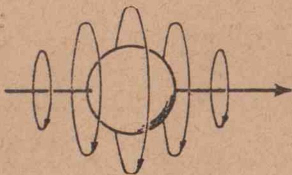
(شكل ١) المجال المغناطيسى فى الذرة

اكتشف ان كل تيار كهربائي يصحبه مجال مغناطيسى وهذا المجال المغناطيسى يمثل طاقة مختزنة فإذا زاد التيار زاد في الطاقة المغناطيسية المختزنة ، هذه الطاقة لم تتحول إلى حرارة كما يحدث عند مرور تيار في سلك ذى مقاومة ولا بد أن هذه الطاقة المغناطيسية قد أتت من مصدر ما ويبدو أنها مقاومة لتغير التيار الكهربائي ، وأن هذه الطاقة صغيرة إذا كان السلك مستقيما ، ولكن السلك لو كان على هيئة ملف بحيث تمر كل لفة في خطوط القوى المغناطيسية للفات المجاورة فإن مقاومة كبيرة لتغير التيار تتكون ونسميها بالحث المغناطيسى ، وكل منا لاشك يتبين وجود الكثير من هذه الملفات إذا تطلع إلى تفاصيل جهاز اللاسلكى ، وهذه الملفات بمعنى آخر تزيد من قدرة التيار على الاحتفاظ بقوته دون تغير .

الكتلة الكهربائية المغناطيسية :

لنتصور أن كرة مشحونة بالكهرباء تحركت فهذه الكرة المتحركة تصبح كأنها تيار كهربائي يحيط به مجال مغناطيسى (شكل ٢) ، فاذا زادت السرعة زاد المجال المغناطيسى ، وإذا قلت قل المجال المغناطيسى ، ويبدو كأن الكرة بهذه السرعة تزداد

وزناً ، فاذا لم تكن الكرة مشحونة لم يحدث ذلك ، ولذا تظهر لدينا بهذه الفكرة كتلة إضافية نسميها الكتلة الكهربائية



(شكل ٢) الكتلة الكهربية المغناطيسية

المغناطيسية . وهذه الكتلة الإضافية تزداد بزيادة السرعة كما يلاحظ في حالة أشعة بيتا أو أشعة المهبط السريعة . وقد دعا صغر كتلة الالكترون العلماء أن يفكروا في اعتبار كتلة الالكترون كلها كتلة كهربائية مغناطيسية ، ولو أن الذرة مكونة من الكترونات لفكرنا فى اعتبارها ظاهرة كهربائية مغناطيسية ، ولكن قوانين تغير الكتلة مع السرعة لا تتفق مع التجارب علاوة على أن النظرية لم تكن كاملة فكيف توزع الكرات الالكترونية وكيف توزع الشحنة : هل هى على السطح أم موزعة في الداخل . . ولما كان من المعروف أنه كلما كان قطر الكرة صغيرا كانت الكتلة الكهربائية المغناطيسية كبيرة

إذن فالالكترون لايمكن أن يكون نقطة إذ فى هذه الحالة تصبح كتلة لانهائية بينما كتلة الالكترون صغيرة جدا .

الكتلة والطاقة :

كل هذه الصعوبات أدت إلي رفض هذه الفكرة وسرعان ما شرح أنيشتين النظرية النسبية ليفسر بها هذا الموضوع ، واستنتج أن الكتلة والطاقة كميتان قابلتان للتحويل إحداهما للأخرى بمعنى أن كتلة من المادة قدرها ك يمكن أن تتحول إلى طاقة قدرها ك جـ ٢ حيث جـ كمية ثابتة تساوي سرعة الضوء وهذا التعريف يحل كثيرا من الاعتراضات الموجهة إلي اعتبار الالكترون كتلة كهربائية مغناطيسية ، فالا كترون بصفته جسيم مشحون يحمل طاقة كهربائية ، وما من شك في أن كتلة الالكترون يمكن أن تكون مقابلة لطاقته الكهربائية ولأجل شحن كرة من المادة ، يجب أن تبذل شغلا يقدر بمربع الشحنة مقسوما على نصف قطر الكرة ، وهذا الشغل هو الطاقة الكهربائية على الكرة .

وإذا اعتبرنا أن هذا ينطبق على الالكترون ، وطبقنا

نظرية أنيشتين فإننا نجد أن

$$\frac{ش^{٢}}{نق} = ك\,ج^{٢}$$

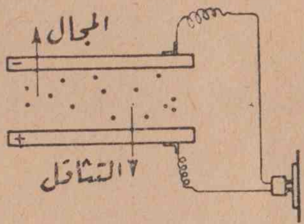
حيث ش شحنة الالكترون ونق نصف قطر الالكترون و ك كتلته و ج سرعة الضوء ومن هنا نستطيع أن نقدر قيمة نصف قطر الالكترون من العلاقة .

$$نق = \frac{ش^{٢}}{ك\,ج^{٢}} = ١٠^{-١٣} \text{ سم تقريبا}$$

تعيين شحنة الالكترون :

ما قيمة شحنة الالكترون بعد أن عرفنا النسبة بين شحنته ووزنه ؟ يمكن الحصول على قيمة تقريبية لشحنة الالكترون لو قسمنا شحنة معروفة مثل الفراداى على عدد ما تحتويه من الكترونات والفراداى شحنة معروفة ويحتوى على عدد ثابت من الالكترونات مقداره ٦×١٠^{٢٣} — خارج القسمة فيعطينا قيمة تقريبية لشحنة الالكترون لأن عدد الالكترونات هذا عدد تقريبي فلا بد من البحث عن طريقة أخرى لا بد من البحث عن ميزان نزن به الشحنة كما نزن الكتلة بالميزان المعتاد لا بد من البحث عن ميزان الكترونى حساس .

لنتصور قطرات صغيرة جدا من الزيت سابحة بين لوحين من المعدن هذه القطرات تتساقط بين اللوحين تحت تأثير التثاقل لو أن اللوحين غير مشحونين بالكهرباء ، فلو أننا شحنا اللوح الأسفل بشحنة موجبة والأعلى بشحنة سالبة (شكل ٣)



(شكل ٣) المجال المغناطيسى في الذرة

لوجدنا أن قطرة الزيت إذا كانت هى الأخرى مشحونة بشحنة سالبة أو موجبة تتاثر بقوتين قوة جذب الأرض لها (التثاقل) وقوة كهربية أخرى ناشئة من المجال الكهربى بين اللوحين ، ولنفرض أن مصدرا مشعا وضع بالقرب من قطرات الزيت هذه فإن أشعة بيتا أو الالكترونات الناتجة تستطيع أن تؤين قطرات الزيت فتنفصل منها الالكترونات ذات الشحنة السالبة التى تتساقط إلى أسفل ، وتبقى أيونات الزيت ذات الشحنة الموجبة المساوية لشحنة الالكترونات متاثرة بقوة جذب

الأرض والمجال الكهربى إلى أعلى ، فاذا أضيئت المسافة بين اللوحين فإن قطرات الزيت تظهر أمام الميكروسكوب كما لو كانت ثابتة لو أن ثقلها يتساوى مع القوة المؤثرة عليها إلى أعلى ويمكن أن تغير المجال الكهربى حتى تصل إلى هذه الحالة التى تثبت فيها القطرات وعندئذ يكون

وزن القطرة = شحنتها × شدة المجال

ومن معلومية وزن القطرة وشدة المجال يمكن تعيين الشحنة وعندما أجريت هذه التجربة أمكن الحصول على قيم مختلفة للشحنة ش أو ٢ ش أو ٣ ش ..... ولكن لم يتسن الحصول على قيمة أقل من ش ولذا احتسبت ش شحنة الالكترون ومن هنا أمكن تعيين كتلة الالكترون بمعلومية الشحنة ش

والشحنة النوعية $\frac{ش}{ك}$

وقد وجد أن وزن الالكترون = $١٠^{-٢٤}$ ميلليجرام

الالكترون داخل فى تركيب المادة :

لنرجع البصر قليلا لنرى كيف حصلنا على الالكترون من أشعة المهبط هذه الأشعة التى خرجت من مادة المهبط ومعنى

ذلك أن المعدن الذى خرجت منه الأشعة مكون من الالكترونات وأن هذه الالكترونات فى المعادن هى السبب فى أنها موصلة جيدة للكهرباء ، ولكن اتضح أيضا أنه من الممكن الحصول على الالكترونات من الغازات فاذا مر تيار كهربائي فى أنبوبة تحتوى على كمية من الغاز تحت ضغط منخفض فإن هذا التيار يسرى من طرف الأنبوبة إلى الطرف الآخر بواسطة الالكترونات الحرة المكونة فى الغاز والسرعة كبيرة جدا لدرجة أن ذرات الغاز تصبح مضيئة .

ويلاحظ هذا كثيرا فى إعلانات النيون والأرجون وفى كثير من الحالات تلتقف الالكترونات الخارجة من الذرات بواسطة ذرات أخرى وتعطي أيونات سالبة .

أمواج وجسيمات وكم

منذ نحو أربعين عاما والتجارب على تركيب الذرة يجريها العلماء فى المعامل وقد وصلت هذه التجارب إلي تحقيق نماذج للذرة ، ومن دراسة الطيف أمكن تخيل وجود سحب الالكترون وفى مدة وجيزة تغيرت فكرة العالم عن تركيب المادة فعرفت نماذج رذرفورد وبوهر للذرة وثبت أنها نماذج صحيحة ، ولكن ككل إضافة للمعرفة يقوم بها أحد العلماء لا تزال تملأ الفراغات الموجودة حولها إلي أن تتراكم عناصر المعرفة ويتكامل الموضوع بعد أن يكون قد اشترك فيه علماء كثيرون فى أزمنة مختلفة فقد تمكن كوبرنيكس وجاليليو وكبلر من تبيان ملاحظتهم بشان نموذج المجموعة الشمسية وكيفية حركة الكواكب فى مداراتها حول المركز الكبير ولكنهم لم يبينوا لماذا ، إلى أن أتى نيوتن ووضح السبب حين ربط هذه الحركة بفعل قوة الجاذبية وهنا اكتمل المعنى عن نموذج كوبرنيكس وأصبح مفهوما .

نظرية ماكس بلانك :

ومنذ نحو ستين سنة حاول العالم الألمانى ماكس بلانك أن يصف ظاهرة انبعاث الإشعاعات من المواد المشعة بواسطة قانون عام فوصل إلي حقيقة غريبة وأعلن أنه عثر على قانون يستنتج منه أن الطاقة لا تنبعث على هيئة سيل مستمر ولكن على دفعات غير قابلة للتجزئة سميت بالكم فبين أن أشعة الشمس نفسها مثلها كمثل أى أشعة أخرى صادرة من مصدر مشع تتكون من دفعات من الطاقة صغيرة وأن السبب فى أن الضوء والحرارة تظهر لنا كما لو كانت سيلا مستمرا هو صغر هذه الكميات من الطاقة بحيث أن إحساسنا لا يستطيع التمييز بينها ، وبين بلانك أن كميات الطاقة الصغيرة هذه ليست متساوية ولكنها تختلف باختلاف طول الموجة المشعة فكميات الطاقة المنبعثة من الضوء الأحمر أصغر من المنبعثة من الأزرق والبنفسجى والكميات المنبعثة من الضوء الأزرق أصغر من المنبعثة من أشعة رونتجن وقد حققت التجارب نظرية بلانك تحقيقا سبب لها النجاح المطرد ، كما حققت مكاسب علمية كبيرة فى القرن العشرين..

فإذا عبرنا عن تردد الإشعاع أو الضوء بالرمز ت وعن الطاقة المنبعثة بالرمز ق فإن $ق = هـ \times ت$ حيث هـ كمية ثابتة أوجدها ماكس بلانك وتسمى ثابت بلانك وهى كمية صغيرة تقاس بالارج ويعبر عن التردد بانه عدد الذبذبات فى الثانية . وثابت ماكس بلانك $= ٦,٥ \times ١٠^{-٢٧}$ إرج ثانية(١) — ولما كان الضوء العادى يتذبذب بمقدار ٦×١٠^{١٤} مرة فى الثانية فإن الطاقة المنبعثة منه تساوى $هـ \times ت = ٤ \times ١٠^{-١٢}$ إرجا وهذه كمية صغيرة جدا .

هذا القانون الحسابى البسيط لم يكن أيضا فى علم الطبيعة وحده بل أصبح مفيدا أيضا فى علم الحياة (البيولوجى) فمن المعروف أن كساح الأطفال ينشا عن نقص فى فيتامين د ، وقد عرف أيضا أن هذه المادة يمكن أن تتكون في جسم الإنسان بتاثير أشعة الشمس ، والتفاعل الكيماوى يحتاج إلي طاقة كبيرة وهذه الطاقة الكبيرة يمكن الحصول عليها من أكثر أنواع الضوء ترددا وهى الأشعة فوق البنفسجية ، ولذا عرف أن أشعة الشمس التى تمر في نافذة

---

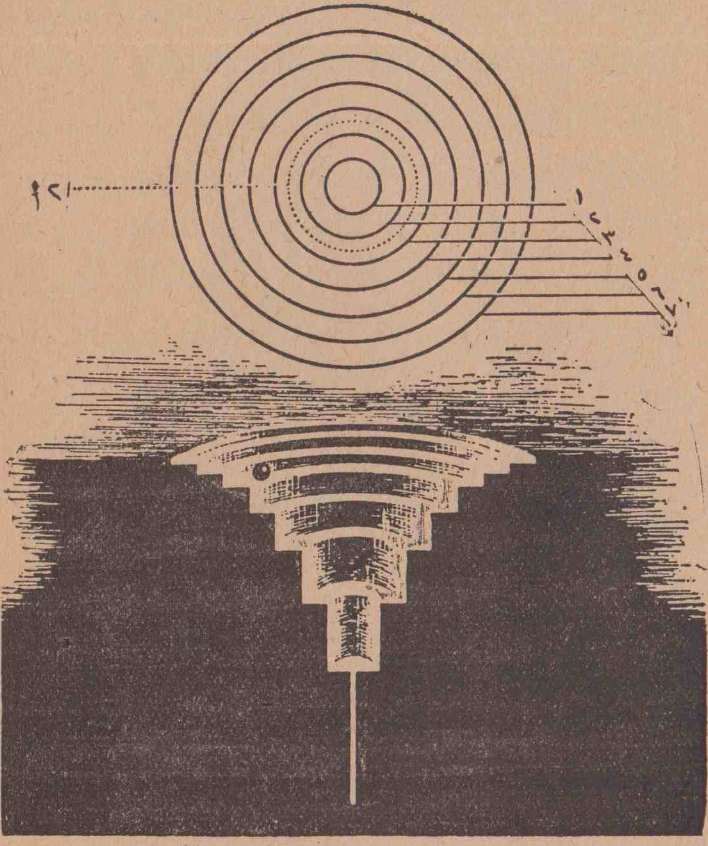
(١) الارج يعدد بالشغل المبذول لتحريك كتلة قدرها نحو ملليجرام واحد من المادة مسافة قدرها سنتيمتر واحد ضد الجاذبية الأرضية . الشغل بالارج = القوة بالزمن × المسافة بالسنتيمتر .

زجاجية تحجز الأشعة فوق البنفسجية لا تساعد على علاج الكساح بل يكفي مصباح صغير يولد أشعة فوق البنفسجية لتادية هذا الغرض .

نظرية بوهر :

وقد ربط بوهر بين نظرية الكم هذه ومعلومات الإنسان عن خواص المادة فقد كان من المعروف أن ذرات الغازات الساخنة ينبعث منها ضوء ذو موجات معلومة الطول ، فمثلا إذا وضعت ذرات من ملح الطعام في لهب مشتعل فإنها تعطى لونا أصفر لأن ذرات الصوديوم تنبعث منها طاقة بكميات ذات حجم واحد تقابل طول موجة اللون الأصفر وكان شرح بوهر لهذه الظاهرة هو في شرح المدارات التى توجد بها الالكترونات حول نواة الذرة ، فمثلا إذا تصادمت ذرة مع أخرى كما يحدث في الغازات الساخنة فإن الكترونا من الالكترونات السابحة في المدار الخارجى يمكن أن يندفع إلى مدار ذى قطر أكبر من قطر المدار الذى كان يحتله ولا يلبث هذا الالكترون أن يحاول العودة إلى مداره القديم الذى كان يمثله وبذا تنبعث عنه كمية من الطاقة على شكل ضوء ، ولما كان الضوء المنبعث

من هذه العملية ذا موجة ثابتة الطول فإن كمية الطاقة المنبعثة أيضا ثابتة مما يجعلنا نعتقد أن الالكترون عندما يندفع من مداره إلي مدار أكبر لا يفعل ذلك دون قانون بل ينتقل إلى مدار آخر معروف محدد ثابت القطر وليس إلى أى مدار اختيارى ، فلنفرض مثلا ذرة بسيطة مثل ذرة الأيدروجين ليس بها إلا الكترون واحد فيمكن أن يندفع الالكترون من مداره ١ إلي المدارات المحددة ٢ ، ٣ ، ٤ انظر شكل (٤) كما يمكن أن يعود إلى مدار أقرب ولا يمكن أن يعود إلى مدار غير محدد مثل المدار ٢ ١ وهذه المدارات محددة بقانون ماكس بلانك وهذا اختلاف كبير عن حالة دوران الأرض حول الشمس أو دوران الأقمار الصناعية حول الأرض فإذا زادت سرعة وطاقة الأرض أو القمر فإنها تتخذ لنفسها مدارا أكبر ، وإذا قلت اتخذت لنفسها مدارا أصغر وهكذا فيمكن أن تتخذ الأرض أى وضع في حوض الجاذبية ، كما يمكن أن تتخذ لنفسها أى مدار بينما الالكترونات محدودة بمدارات ثابتة فلا بد من خطوات معينة وإذا لم يحصل الالكترون على كمية الطاقة اللازمة لنقله من مدار إلى المدار الذى يليه فلا ينتقل أما إذا حصل على كمية من الطاقة تكفي لنقله فإنه ينتقل وإذا عاد



(شكل ٤) الالكترون فى حوض الطاقة المتولد بسبب الجذب بينه وبين البروتون فى ذرة الأيدروجين

انبعث منه ضوء ذو طاقة تعادل الطاقة التي استطاعت نقله من مدار إلى آخر كما لو كان يصعد سلما أو يهبط فلا يستطيع الوقوف بين درجين من درج السلم .

ولقد شابه اكتشاف بوهر لصورة الذرة اكتشاف كوبرنيكس فقد شرح بوهر كيف أن الالكترونات تتحرك داخل الذرة ، وشرح القواعد التي تسير عليها وتضمن نموذج بوهر نظرية بلانك للكم ، ولكن هذه النظرية بنيت على تحليل الحقائق التي حققتها التجارب ومع ذلك فإن بعض ظواهر لا تتفق مع ما كنا نعرفه ذاك الوقت من قوانين الطبيعة الكلاسيكية ظلت تداعب هذا النموذج المبتكر طول الوقت وكان بوهر نفسه يراها بوضوح أكثر من غيره فالالكترونات التي تسير في مداراتها يجب حسب هذه القوانين أن تبعث إشعاعات طول الوقت بينما هي لا تفعل ذلك وانبعاث الضوء يأتي بناء على قفزات من مدار إلى آخر حسب ما بينه بوهر ، وما لبثت نظرية الكم هذه أن زعزعت قليلا مركز ما نسميه في الوقت الحاضر بالطبيعة الكلاسيكية وهي ما كنا نعرفه من علم الطبيعة في ذلك الوقت وبسرعة كانت الخطوة الأولى للقوانين الجديدة عن الكم .

وقد وجد رجال الطبيعة أنفسهم أمام مجموعة من قوانين الطبيعة الجديدة التي احتلت فيها نظرية الكم مركزا ممتازا كما اتضح أن التفسيرات التي وضعها بوهر كانت من لوازم هذه القوانين ويعنى ذلك أنه وجب البحث عن مكان الخطأ في الطبيعة الكلاسيكية وبالبحث وجد أن الطبيعة الكلاسيكية استطاعت تفسير القوانين عامة إلا إذا صغرت دنيا البحث بحيث وصلت إلى أبعاد الذرة وهنا تخفق الطبيعة الكلاسيكية في تفسير ما نراه من ظواهر .

الطبيعة الكلاسيكية عند الأبعاد الكبيرة :

وفى نفس الوقت الذى هددت فيه الطبيعة الكلاسيكية بواسطة نظرية الكم ظهر تهديد آخر فبين أنيشتين فى النظرية النسبية أن قوانين نيوتن فى الميكانيكا التى كانت تشرح لنا ما يدور فى حياتنا العادية أصبحت هى الأخرى غير ذات موضوع عندما تزداد السرعة تكون أبعاد محيطنا كبيرة . أوضح أنيشتين أن قوانين الميكانيكا بنيت على ملاحظات فى دنيا الأبعاد التى يحسها الإنسان وفى حركات بطيئة نسبياً بحيث يمكن إدراكها بحواسنا وعندما تطبق قوانين أنيشتين على هذه السرعة والأبعاد فإنها تتفق مع قوانين نيوتن .

ماكسويل وطيف الضوء :

وفى دنيا الذرة أيضا عامل رجال الطبيعة الذرات والالكترونات كما لو كانت قطعا من المادة مثلها مثل المادة التى تقابلها فى حياتنا العادية كما نظر إلى الضوء كأنه تموجات على سطح بحيرة ، ولا زالت النظرة إلى طبيعة الضوء هى نظرة ماكسويل حينما قال إنه موجات كهربائية مغناطيسية ولا زال الإنسان عاجزا عن أن يحس أو يذوق أو يسمع أو يشم المجال الكهربائى المغناطيسى ولا زالت فى ذهنه تلك الموجات على سطح الماء كشبيه لموجات الضوء .

الكم والطبيعة الكلاسيكية :

وقد أصبح من الممكن أن يتجرد الإنسان من القيود الفكرية التى تنشأ إذا حبس نفسه داخل الأبعاد التى يحسها فقط ولزم أن يصمم نموذجا للعمليات التى تحدث فى نطاق الأبعاد الذرية مثل نموذج المجموعة الشمسية التى فكر فيها بوهر ورذرفورد ومع هذا فالالكترونات ليست كرات أو كواكب ولذا ليس غريبا أن تشذ عند معاملتها هذه المعاملة ولكن لا بد من فهم الأوضاع الجديدة وتقريبها إلى الذهن وفى بعض الأحيان نستعين بالرياضة

على فهم المقاييس الجديدة وفى البعض الآخر نرى أننا دخلنا فى المملكة الرياضية لتفسير ظاهرة معينة حتى إذا أردنا الخروج منها تعذر علينا ذلك وبقينا محبوسين فيها لأننا نجد أن خروجنا من هذه الدائرة معناه زيادة الغموض .

فموجات الضوء فى الطبيعة الكلاسيكية تعتبر تموجات كهربية مغناطيسية تنبعث فى الفضاء وتضعف رويداً رويداً كلما اتسع مداها فى الفضاء فلنحاول تطبيق نظرية الكم أو نظرية بلانك التى تفترض وجوب انبعاث الطاقة على دفعات فى حالتين. فى الحالة الأولى : نضع حاجزاً محدود المساحة أمام مصدر ضوئى فنجد أن كمية الضوء التى يستقبلها الحاجز تقل كلما ابتعد الحاجز عن المصدر الضوئى وتظل تقل هذه الكمية بالتدريج إلى أن يصل الحاجز إلى وضع يستقبل فيه دفعة واحدة أو كما من الضوء فى وقت معين ونفرض أن هذا الكم ينتشر انتشارا متساويا على الحاجز ، وفى الحالة الثانية نحاول بيان تأثير موجات الضوء على سطح معدن فنجد أن الكترونا ينبعث من سطح معدن كما يحدث فى الخلية الضوئية والواضح أنه يلزم أن يكون الكم مركزاً على الالكترون ومن الصعب توقع انبعاث الالكترون إذا تصورنا أن الكم موزع على جزء من السطح مما ينتج عنه أن الخلية

الضوئية لا تؤدى عملها فى الضوء الضعيف فى حين أن المعروف أن الخلية الضوئية تؤدى عملها فى الضوء الضعيف ومن ذلك يلزم أن نستخلص من هذا أن الكم لا ينتشر على الحاجز إذا تحرك بعيداً فى الفضاء ويجب أن نعتبر أن الضوء يتكون من مجموعة من دفعات الطاقة تسلك مسلك الجسيمات العادية من حيث الحجم فلا تتلاشى فى الفضاء وسميت هذه الجسيمات بالفوتونات .

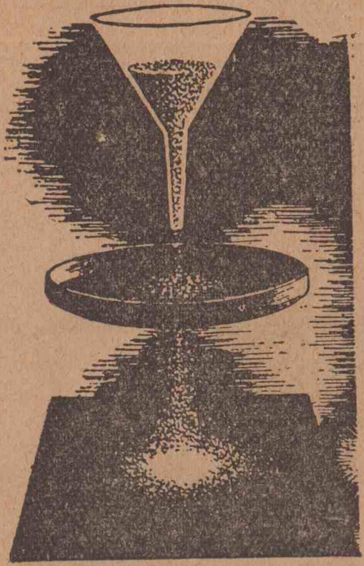
طبيعة الضوء :

وبذا نصبح فى مأزق. أين نحن من طبيعة الضوء هل هو أمواج أم جسيمات؟ هذا هو نفس السؤال الذى حير العلماء في عصر نيوتن لدرجة أنه أقيمت حلقات علمية كثيرة بعضها ينصر نظرية الأمواج وبعضها ينصر نظرية الجسيمات حتى لقد قيل على سبيل التفكه ثلاثة أيام فى الأسبوع للأمواج وثلاثة للجسيمات ويوم للراحة ولما صعب على العلماء تخطئة إحدى النظريتين توقعوا علاقة أكثر غرابة وتساءل المتسائلون ماذا يكون الرأى في سلوك الجسيمات نفسها أليس من الممكن أن تكون لها أيضاً خاصة موجية ولم ينتظر العلماء كثيراً ففي سنة ١٩٢٤ تمكن دى برولى من نشر نظرية من شأنها أن تصحب الجسيمات المتحركة من المادة أمواج سميت

أمواج المادة ولكن المعنى الطبيعي وراء هذه التسمية ظل غامضاً ورغم هذا الغموض عد هذا الاكتشاف نصراً كبيراً للطبيعة الحديثة.

التجارب العملية لتحقيق اكتشاف دى برولى :

وبعد ذلك بسنوات ثلاث أجريت تجارب لإثبات هذه النظرية قام بهذه التجارب عالمان أمريكيان هما دافيسون وجرمر وعالم انجليزى هو السير جورج تومسون واعتمدت هذه التجارب أساساً على انتشار الالكترونات فى زوايا مختلفة نتيجة لاصطدامها بسطح بلورة من المعدن ولتقريب التجربة إلى الأذهان تشبه هذه الظاهرة بما يحدث لو أن سيلا من حبيبات الرمل يخرج من ثقوب منخل دون المساس بالشبكة وبعض الحبيبات تصطدم بالشبكة وترتد ثم تنتشر ويعتمد مقدار الانتشار على حجم الحبيبات والثقوب إلا أن منظر الحبيبات بعد مرورها في الثقوب لا يتغير بتغير حجم الثقوت ولو أن زاوية الانتشار تكبر كلما صغرت ثقوب الشبكة فأغلب الحبيبات تمر في الوسط في اتجاه المسير الأصلى تقريباً كما في (شكل ٥) وإذا وضعت قطعة سوداء من القماش مكان سقوط الحبيبات ، فإن الحبيبات تلتصق بالقماش فى مكان سقوطها وتكون نتيجة التجربة تكون بقعة من الرمل ملتصقة بالقماش



شكل (٥) مرور دقائق الرمل خلال المنخل

تكون سميكة فى المركز وترق كلما بعدت عن المركز بالتدريج وهذه هى الصورة التى نتوقعها من مرور حبيبات الرمل خلال ثقوب المنخل حسب معلوماتنا فى الطبيعة الكلاسيكية — تقابل هذه التجربة تجربة أخرى تختص بمسير الضوء الذى ينبعث من مصباح إضاءة في أحد الشوارع ويمر خلال قطعة من القماش

ويلزم لإجراء التجربة أن يكون المصباح بعيدا . يلاحظ أنه بدلا من الحصول على بقعة بيضاء تضعف تدريجاً عند الابتعاد عن المركز فإن شكلا منتظما يتكون يحتوى على مناطق مضيئة يفصلها خطوط سوداء (شكل ٦) والسبب فى ذلك انتشار أمواج



(شكل ٦) مرور أمواج الضوء خلال قماش المظلة

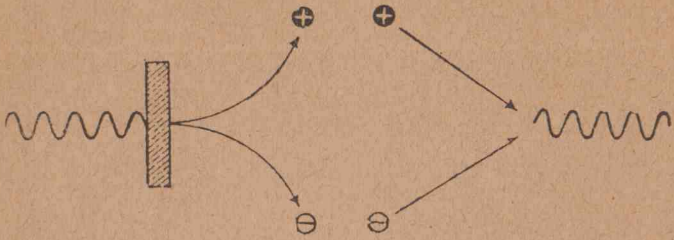
الضوء بواسطة خيوط القماش — واختلاف الصورة في الحالتين ناتج من أننا اعتبرنا فى الحالة الأولى حبيبات وفى الحالة الثانية أمواجا وأن تداخل الأمواج بعضها فى بعض ليس أمراً بسيطا فإذا تداخلت موجتان فإن نتيجة هذا التداخل تجميع الموجتين بحيث تقوى إحداهما الأخرى فى لحظات معينة ومعنى ذلك أن النهايتين العظميين للموجتين يتلاقيان وفى لحظات أخرى تلاشى إحداهما الأخرى إذا تلاقت نهاية عظمى لإحداهما مع نهاية صغرى للأخرى فينتج من تداخلهما معاً مناطق مضيئة وأخرى مظلمة .

وكانت تجربة دافيسون وجرمير هى الفيصل فى نظرية دى برولى وعلى نتيجتها ينبنى نجاح هذه النظرية وفى هذه التجربة تؤدى البلورات — التى تحتوى على ذرات موضوعة وضعاً منتظماً — عمل الشبكة التى تسمح للالكترونات بالمرور وكانت النتيجة نجاحا باهرا فقد أمكن الحصول على صورة شبيهة بالصورة الناتجة عن مرور أشعة رونتجن فى المادة شكل (٧) وهى مماثلة لشكل (٦) الذى يبين مرور أشعة الضوء فى قطعة القماش ولاقت حينئذ نظرية دى برولى نجاحا منقطع النظير بسبب هذه التجربة .



شكل (٧) مقارنة بين حيود موجات أشعة رونتجن إلى اليسار وموجات الالكترونات إلى اليمين

وبعد هذا النجاح — يأتى السؤال الذى يدور بخلد العلماء دائماً هل وصلنا إلى حل الغموض الذى حولنا بعد هذا النجاح ؟ والجواب دائماً ألقت هذه التجربة بعض الضوء ، ولكن لا زال الموقف محتاجا إلى مزيد من العمل والجهد لإزالة الغموض ، بل لقد فتحت آفاق جديدة للعمل ، وأصبحت أنواع الإشعاعات المختلفة من ضوء إلى حرارة إلى أشعة فوق بنفسجية إلى أشعة رونتجن وأشعة جاما تعتبر صورا مختلفة للأمواج الكهربائية المغناطيسية كلها متشابهة فى الخواص ومختلفة فى طول الموجة انظر شكل (٨) .



شكل(٨)عندما تصطدم أشعة جاما بالمادة تتحول طاقتها ويتولد زوجان من الالكترونات الموجبة السالبة وعندما يصطدم الكترون موجب بالكترون سالب يختفيان وتحل محلهما أشعة جاما

المادة والإشعاع

وكاد الفرق بين المادة والإشعاع يزول بعد أن اتضح التشابه بين الظاهرة الضوئية الكهربية وحيود الالكترونات، وبعض الخواص الأخرى إلى أن ربط ديراك فى سنة ١٩٣٠ بين الاثنين حينما بين إمكان تحويل المادة إلى إشعاع فتحدث ديراك عن الكتلة السالبة والكتلة الموجبة وكان حديثه حديثاً رياضيا بحتا من الصعب إدراكه حسيا فكيف يمكن أن تتصور أو تدرك كرة سالبة الكتلة أو تتصور الكترونا سالب الكتلة — ربما استطعنا بمرور الزمن أن نفهم الآن معنى ذلك فى دنيا ديراك، الكتلة السالبة تعنى لا كتلة

أى فضاء فى حاجة إلى كتلة ، وإدراك هذا المعنى لم يكن ميسورا فى ذلك العهد حتى أن بعض رجال الطبيعة بالرغم من إعجابهم بنظرية ديراك رفضوا تصديقها . وحسب نظرية ديراك توجد أماكن فى الفراغ شاغرة يمكن أن تحتلها الكترونات ولكن هذه الالكترونات غير موجودة فتظهر هذه الأماكن فى الفراغ كأنها ثقوب،وفرق ديراك بين الثقب وبين الفجوة فالثقب شىء يمكن ملاحظته أشبه ما يكون بالكراسى الشاغرة فى إحدى الحفلات وهذه الثقوب صالحة لاستقبال الالكترونات ولكنها تظهر على هيئة الكترونات ذات شحنة موجبة — تصور جميل ، وأجمل منه أن هذا التصور نفسه بدأ قبل اكتشاف الالكترون ذى الشحنة الموجبة عمليا .

وتقول النظرية إن هذا الثقب إذا صادفه الكترون سالب معتاد احتله وتلاشى فاتحد الالكترون مع الثقب أو تفاعل الالكترون السالب مع الالكترون الموجب وتلاشت الكتلتان والدليل الذى تتركانه هو انبعاث طاقة إشعاعية فى الفضاء دليلا شاهداً على اختفائها ولكن هل يحدث عكس هذا أى هل يمكن أن يتولد عن الإشعاع الكترونان أحدهما سالب والآخر موجب ؟ .

أجاب ندرسون فى سنة ١٩٣٢ عن هذا السؤال وكذلك

بلاكت عندما اكتشفا وجود الالكترون الموجب ضمن الأشعة الكونية عندما تصطدم أشعة جاما بالمادة وينتج عن هذا التصادم الكترونان أحدهما سالب والآخر موجب ثم أمكن عمليا إثبات أن الالكترون الموجب يتحد بالالكترون السالب لتنتج عنهما أشعة جاما وهنا تحققت نبوءة ديراك (شكل ٩) وفتحت آفاق جديدة فى عالم الاكتشافات وتنبأ المتنبئون بوجود البروتون السالب كما تنبأ ديراك بوجود الالكترون الموجب، فمن الواضح إذن أن المادة فى عالمنا تحتوى على الكترونات سالبة وبروتونات موجبة ويقابل الالكترون السالب الكترون موجب وقد أمكن إثبات وجود البروتون السالب أيضا ليقابل البروتون الموجب .

عالمنا أبسط مما كنا نتصور :

وهنا يجدر بالذكر الإشارة إلي العلاقة التى أوجدها أينشتين لتربط بين الكتلة والطاقة وبين قوانين بقاء الكتلة والطاقة فقد ذكر أينشتين أنه من الممكن تحويل المادة إلي طاقة والطاقة إلي مادة ويعتبر تحول الالكترونات إلى إشعاع وتحول الإشعاع إلى الكترونات أول تحقيق لقانون أينشتين وبهذا يبدو عالمنا أبسط مما كنا نتصور فالتشابه بين الجسيمات والأمواج

وبين الطاقة والمادة يكون علم الطبيعة قد خطا خطوة كبيرة نحو توحيد الظواهر التى ينبنى عليها هذا العالم .

الموجات الألكترونية :

ربما يمكن إرجاع تاريخ الصفة الموجية للالكترون إلى ماقبل دى برولي عندما حسب شرودنجر ما يحدث عندما تصطدم الموجات التى تمثل الالكترون بالبروتون فوجد أن هذه الموجات تحيد بواسطة البروتونات كما تحيد أمواج الضوء عندما تمر فى قماش المظلة (شكل ٦) وفى بعض الأحيان تنحنى موجة الألكترون حول البروتون مكونة شكل حلقة كما يحدث عندما يسقط شعاع ضوئى على جسم صغير ونحن كثيرا ما نرى مثل هذه الحلقات أمام أعيننا عندما ننظر إلي السماء وتتسبب عن حيود الضوء على نقط دقيقة من الغبار تكون قد استقرت على إنسان العين . أما الموجة الألكترونية التى تمثل الشحنة السالبة فتبقى مع البروتون وتحيط به كحلقة صغيرة دائرية وتتكون منهما ذرة الأيدروجين .

وكما أن للموجات العادية خواصها وتتميز بطولها وعدد ذبذباتها فكذلك الموجات الألكترونية تعرف بذبذباتها المعينة وسلوكها

الذى تجدده طبيعة الألكترون والبروتون فموجات الألكترون حول البروتون يمكن أن تكون حلقات معينة تعرف بحلقات الحيود وهى بذاتها المدرات التى أشار إليها نموذج بوهر كمدارات للالكترون فى ذرة الأيدروجين وبتمثيل مدارات الألكترون بأنها أشكال الحيود الطبيعية للموجات الألكترونية يمكن أن نبين السبب فى وجود هذه المدارات ويمكن إعطاء معنى جديد لتركيب الذرة — وبالرجوع إلي حلقات الحيود حول النواة نعطي صورة مبسطة على قدر الإمكان حيث أن النموذج الذرى مجسم وليس سطحا ولذا فموجات الألكترون يمكن أن تعتبر غلافا كرويا للنواة وليس غلافا حلقيا ولكننا بهذه الصورة المبسطة نتصور قطاعا فى غلاف النواة .

وحلقات الحيود لموجات الألكترون لا تعطي أى دليل على مكان الألكترون .

هيزنبرج ومبدأ اللاتحقيقية :

وهذا هو ما حير دى برولي كثيرا وأوجد شيئا من التردد عند رجال الطبيعة لقبول نظريته ولذا لم يذكر دى برولي أن الألكترون موجة ولكنه وصف حركة الألكترون

بأنها مصحوبة بموجة فأين مكان الالكترون من هذه الموجة ؟ هل هو شيء صغير فى وسط مجموعة الأمواج ؟ وهل هو متحرك فى الموجة ؟ أو هل هو منتشر على طول الموجة ؟ وهل الأمواج والألكترونات تعنى نفس الشيء ؟ وهنا تقدم العالم الألمانى هيزنبرج ووضع حدا للجدل فى الموضوع وإن كان لم يجب على السؤال حين قال إنه لا يحب الحديث عن موضع الألكترون وعن سرعته إلا إذا كانت لدينا الوسائل لتعينهما وبين أن اللامحققية فى تعيين موضع وسرعة الألكترون لا علاقة لها بنوع التجربة ولكنها متعلقة بطبيعة الأشياء وأنها لا مناص منها وعرف مبدأ هيزنبرج بمبدأ اللامحققية وأثار جدلا كبيرا بين رجال الطبيعة والفلاسفة فى ذلك الوقت ووضع مبدأ اللامحققية لهيزنبرج نهاية لمحاولات تحديد مكان الألكترون داخل حدود موجة دى برولى ولكنه لم يفك لغز هذه الموجة بعد .

الاحتمالات :

لو أننا أردنا أن ننظر إلي الذرة المشعة والمستقرة حسب معلوماتنا عن الطبيعة الكلاسيكية والميكانيكا العادية فإننا نجد أن الذرة إما مستقرة أى لا تتغير أو غير مستقرة وحينئذ يجب

أن تتحول كلها بالإشعاع دون تأخير: فهل هذا هو الحال عندما نحاول معرفة ما يحدث فى ذرة مشعة ؟ وإذا كانت الذرة غير مستقرة كما هو الحال مثلا فى ذرات الراديوم وهى ذرات متشابهة فلماذا تنبعث أشعة ألفا من ذرة معينة فى زمن معين بينما تظل الذرة المجاورة لها خاملة لآلاف من السنين ؟

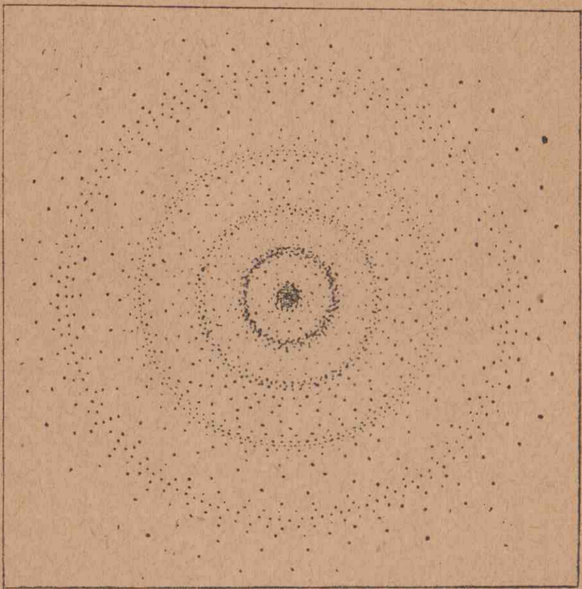
هذا السؤال لا تستطيع الطبيعة الكلاسيكية الإجابة عليه ولكن يمكن حله بطرق الميكانيكا الموجية فالجسيمات التى تكون النواة وهى البروتونات والنيوترونات محدودة فى حوض للطاقة وأمواج دى برولي للجسيمات التى تكون النواة تقع داخل هذا الحوض وتنفذإلي حدما خلال جدرانه،وعندما يزدادثقل الذرات بازدياد عدد جسيماتها المعبأة فى الحوض تصل إلى حالة تتسرب فيها الموجات خلال جدار الحوض ، وليس معنى هذا أن جسيما أو أكثر من داخل الحوض يتركه فى الحال ويطير منه . وعندما تتسرب أهداب هذه الموجات خلال الحائط فمعنى ذلك أن الجسيمات لديها فرصة ولو صغيرة لتتواجد خارج الحوض بدلا من داخله ، وجميع أمواج دى برولى تبقى دائما داخل هذا الحوض إذا كان عدد الجسيمات ٨٣ أو أقل أما إذا زاد العدد عن ٨٣ أى ابتداء من ٨٤ فأكثر فإن الذرات تصبح

مشعة : ففى حالة الراديوم مثلا يوجد احتمال صغير لهروب جسيمات النــواة ، ولو أن الجسيم الخارج هو جسيم ألفا إلا أن جميع ذرات الراديوم لها فرص متكافئة لبعث هذا الجسيم ولـكن لا يمكن التـكهن بالموعد الذى تفقد فيه ذرة معينة دقيقة ألفيه[1] فربما كانت اللحظة القادمة وربما حدث ذلك بعد مائة سنة أو مائة ألف سنة : فمبدأ اللامحققية يجعل من المستحيل التـكهن بموعد انفجار ذرة معينة : ولـكننا يمكن أن نقول إن عمر نصف الراديوم ١٦٠٠ سنة أى أن نصف قطعة معينة من الراديوم تنتهي فى ١٦٠٠ سنة كما لا يجوز أن نتنبأ بأن طفلا أنجبه جار لنا يمكن أن يكون ذكرا أو أنثى : ولـكن لو كان لدينا مليون طفل لأمكن القول أن نصف عدد هؤلاء الأطفال ذكور والنصف الآخر إناث .

ولاشك أن نظرية بوهر حلت كثيرا من الصعوبات وحلقات الحيود لشرودنجر التى حلت محل مدارات بوهر للالـكترون : وضعت معنى جديدا فهي توضح كيف يكون احتمال وجود الألـكترون في نقطة معينة كبيرا .

(١) دقيقة ألفية أو جسيم ألفا تطلق على alpha particle .

ومدارات الألكترون المعروفة هى الأماكن التى يكون احتمال وجود الألكترون فيها كبيرا — ولا يمكن تحديد موضع الألكترون بالدقة ولكن يمكن أن يتحدث عن احتمال وجوده في مكان معين شكل ٩ .



(شكل ٩) ميكانيكا الكم تفسر مدارات الألكترون بأنها حلقات حيود لموجات الألكترون حول النواة

النواة

نواة الذرة هى قلبها الذى يتركز فيه وزنها وقطرها صغير جـدا بحيث تبلغ نسبته إلى قطر الذرة ١ إلى ١٠،٠٠٠ وتتكون النواة من جسيمات تسمى نيوكلونات وهى نوعان إما بروتونات ذات شحنة موجبة تساوى شحنة الالكترون أو نيوترونات متعادلة لا شحنة فيها ويحيط بالنواة مدارات مختلفة تحتوى على سحب الالكترونات .

ومعنى ذلك أن النواة لا تحتوى على الكترونات كما كان معروفا من قبل وهنا تواجهنا مشكلتان لفهم النواة : فكيف نفسر وجود البروتونات موجبة الشحنة بعضها بجانب البعض داخل النواة دون أن تباعد قوى التنافر بين بعضها البعض ؟ وكيف نفسر انبعاث الكترونات من النواة على هيئة أشعة بيتا ؟ للاجابة على السؤال الأول .

وجد العلماء أنفسهم مضطرين لافتراض وجود قوة قصيرة المدى لا تتعدى الأبعاد الذرية لتفسير التجاذب بين الجسيمات حيث أن هذا هو التفسير الوحيد لترابط هذه الجسيمات بعضها

مع بعض داخل هذا الحيز الضيق حتى إذا كبرت الأبعاد بطل مفعول هذه القوى وحلت محلها القوانين المعروفة فى الأبعاد العادية . أما السؤال الثانى فسوف تؤجل الإجابة عليه مؤقتا لحين الحديث عن القوى الرابطة والميزون .

النظائر :

وقبل البحث فى نوع هذه القوى وكنهها ندرس هنا أنواع الذرات المختلفة من حيث استقرارها . فإذا كنا نعرف من العناصر المختلفة ما يربو على ٨٠ عنصرا لكل عنصر وفرته فى الطبيعة ، فإننا نعرف الآن مايربو على ٢٥٠ ذرة ما بين مستقر وغير مستقر وإن كان مجموع العناصر قد يصل إلى المائة أو يزيد قليلا إلا أنه أصبح معروفا الآن أن بعض العناصر تشترك فى العدد الذرى[١] وتختلف فى العدد الكتلى[٢] وسميت بالنظائر وهى صور مختلفة لعنصر واحد مادام العدد الذرى فيها متساويا مثل ذلك الايدروجين الذى يحتوى على بروتون واحد ولا يحتوى على نيوترونات ولهذا العنصر نظير أثقل قليلا

---

(١) العدد الذرى : هو عدد البروتونات بالنواة .

(٢) العدد الكتلى : هو عدد البروتونات والنيوترونات بالنواة .

يسمى الديوتريوم يحتوى على نيوترون علاوة على البروتون كما أن له نظيراً آخر يسمى الترتيوم يحتوى على نيوترونين وتتلخص صفات هذه النظائر فى الجدول الآتى :

جدول (١)

	العدد الذرى عدد البروتونات	العدد الكتلى	عدد النيوترونات
الايدروجين	١	١	—
الديوتيريوم	١	٢	١
التريتيوم	١	٣	٢

وعلى هذا النسق يمكن أن نجد عددا كبيرا من النظائر للمواد المختلفة بعضها يوجد فى الطبيعة وبعضها يحضر صناعيا فى المعمل : وبعض هذه النظائر مستقر أى لاتنبعث منها إشعاعات وبعضها غير مستقر يتحول من نظير إلى آخر بعد أن ينبعث منه جسيم أو أكثر مثال النظير المشع عنصر الراديوم وهو نظير مشع يشع جسيمات ألفا وعمر نصفه[١] تبلغ نحو ١٥٨٠ سنة

(١) عمر النصف : هو الزمن الذى ينقضى لتنقص قوة الاشعاع إلى النصف .

أى أنه لو كان لدينا جرامان من الراديوم لفنى جرام منها بعد ١٥٨٠ سنة بالإشعاع ومعنى ذلك أن إحدى ذرات الراديوم قد ينبعث منها جسيم ألفا فى لحظة ما : وربما بقيت الذرة المجاورة لها ساكنه لآلاف من السنين فليس معروفا أى ذرة ستتحول فى أى وقت فى حين أن ذرات الراديوم جميعا متشابهة :
والالكترونات السالبة والموجة إذا كانت تنبعث من نوى بعض النظائر المشعة فإنها قد تنبعث أيضا نتيجة تفاعل نووى بين بعض النوى والقذائف النووية وفى مثل هذه التفاعلات تنتج بعض ذرات غير مستقرة ذات فعالية إشعاعية ، تنبعث منها الكترونات سالبة أو موجبة وقد يصحب هذه الالكترونات جسيم متعادل أو أكثر ، هذا الجسيم صغير صغر امتناهيا بالنسبة للالكترون ويطلق عليه السم النيوترنيو ، ويكاد يكون عديم الوزن وللذرات المشعة غير المستقرة أعمار معينة تختلف باختلاف أنواعها فمنها ذات العمر الطويل الذى يبلغ آلاف السنين : ومنها مايبلغ عمره ساعات أو دقائق أو أقل وهناك بعض الجسيمات غير المستقرة يصل عمرها إلى أقل من جزء من مليون من الثانية وبعضها أصغر من ذلك بمليون مرة أخرى وفى بعض هذه التفاعلات تنبعث أيضا أشعة جاما .

حوض الطاقة :

بقى انبعاث جسيم ألفا من إحدى ذرات الراديوم دون المجاورة مع تشابه الذرتين في كل شيء لغزا إلى أن افترض العلماء حلا لهذه المشكلة أن الجسيمات التى تكون النواة وهى البروتونات والنيوترونات محتواة فى حوض من الطاقة .

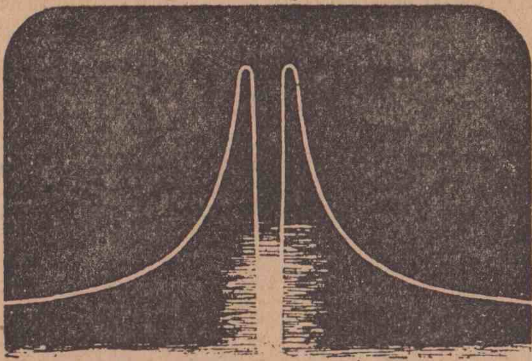
ولهذا الحوض حوائط من القوى ذات صفات معينة فتسمح لموجات دى برولى أن تنفذ فيها إلى حدما وفى الذرات العادية تبقى موجات دى برولى محبوسة داخل الجدران السميكة أما إذا زاد العدد الذرى وزاد تبعا لذلك عدد النيوكلونات المحتواة فى الحوض إلى ٨٢ و ٨٣ (الرصاص والبزموت) أو أكثر فإن موجات دى برولي تتسرب من الحوائط المدية وليس معنى هذا أن الجسيمات تترك النواة فى الحال وتطير إلى الخارج إذ أن موجات دى برولى هى موجات احتمال وعندما تتسرب فمعنى ذلك أن لدى الجسيمات فرصة معينة للتواجد خارج حوض الطاقة بدلا من تواجدها داخله وإن كانت هذه الفرصة صغيرة وفى حالة الذرات المشعة يكون للجسيمات داخل النواة احتمال الانبعاث خارجها وإذا كان مستوى الطاقة

للجسم قريبا من اعلى الحوض كان احتمال اتساعه كبيرا أما إذا كان مستوى الطاقة منخفضا فإن احتمال انبعاث الجسيم يكون صغيرا شكل (١٠) ولذا فإن احتمال انبعاث الجسيمات من الذرات الكبيرة (ذات العدد الكتلى الكبير) كبير نظرا لأن مستوى الطاقة فيها مرتفع .

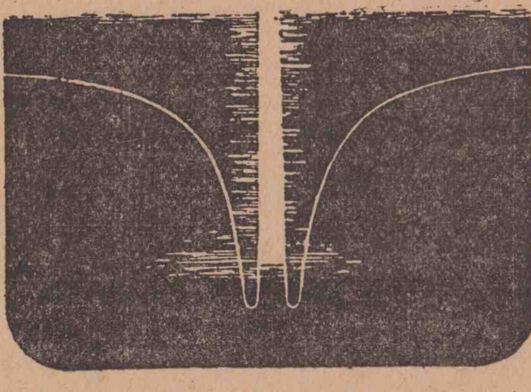
قوى الترابط فى النواة :

لما كان نصف النيوكلونات تقريبا يتكون من بروتونات موجبة الشحنة : ولما كان وجود هذه الشحنة الموجبة تتولد عنه قوة تنافر نظرا لتشابه الشحنة فقد لزم أن نفترض وجود قوة ترابط أو تجاذب من نوع آخر حيث أن القوى الناتجة عن الشحنة قوى عكسية لا تؤدى إلى الترابط . لمعرفة نوع هذه القوة سوف نحاول أن نقارن بين مايحدث داخل النواة وخارجها . نحن نعرف أن الالكترونات التى تسبح فى مداراتها حول النواة إذا انتقل أحدها من مدار إلى مدار أكبر فإنه يمكن أن يعود إلى مداره الأصلى بعد أن ينبعث من الذرة فوتون[١] أو شعاع من أشعة جاما ويمكن أن نقارن بهذه الحالة حالة

(١) الفوتون هو وحدة الطاقة الضوئية .



(شكل ١٠ أ) حوض الطاقة لنواة مستقرة



(شكل ١٠ ب) حوض الطاقة لنواة مشعة

انبعاث فوتونات أو أشعة جاما ذات الموجة القصيرة عند التحول النووى : ولذا يلزم أن تكون هناك صلة بين القوى النووية وبين ما يحدث من انبعاث الالكترونات السالبة والموجبة بعد التفاعلات النووية بزمن معين : وهذا يلقى بعض الضوء على الصورة الغامضة فيمكن أن يعتبر المجال الكهربائى الناشىء عن وجود البروتونات المشحونة سببا فى انبعاث أشعة جاما كما يعتبر المجال النيوترونى سببا فى انبعاث الالكترونات والنيوترنيو والصلة فى هذه الحالة وإن كانت أكيدة إلا أنها ليست صلة بسيطة .

ولسهولة فهم هذه القوى ناخذ مثالا بسيطاً ذرة الايدروجين الثقيل التي تحتوى نواتها على بروتون ونيوترون وتسمى الديوترون فإذا عرفت القوة التي تربط البروتون بالنيوترون داخل الديوترون فإنها تلقى ضوءا على نوع القوى داخل النواة . تتكون ذرة الديوتريوم من اتحاد ذرة ايدروجين خفيف مع نيوترون وفى هذه الحالة تنبعث أشعة جاما ، ولما كان وزن ذرة الديوتريوم ٢٫٠١٤٧ وحدة كتلة ذرة بينما مجموع وزن ذرة الايدروجين والنيوترون = ١٫٠٠٨١٣ + ١٫٠٠٩٥ = ٢٫٠١٧١ وحدة كتلة ذرية فإن وزن ذرة الديوتريوم أصغر

من مجموع وزنى ذرة الايدروجين والنيوترون والفرق يساوى ٠٠٢٤ر٠ وحدة كتلة ذرية وهذا هو نقصان الوزن ويعادل ٢ر٢ مليون الكترون ڤولت وهذه هى الطاقة المنطلقة على هيئة فوتونات وتمثل الطاقة الرابطة ، وهذه القوة بين البروتون والنيوترون موجودة إذن ، فلو أننا قذفنا مادة محتوية للايدروجين مثل البرافين أو الماء بقذيفة نيوترونية فإن النيوترونات تنحرف عن مسارها المستقيم ويعتمد مقدار هذا الانحراف على المسافة بين البروتون والنيوترون ، ويلاحظ أن هذا الانحراف يزيد عندما تكون المسافة صغيرة بين البروتون والنيوترون ويمكن القول بأن القوة بينهما تصغر جداً عندما تكون المسافة أكبر من ٥ × ١٠ — ١٣ سم ومعنى ذلك أن هذه القوة من النوع القصير المدى .

القوى الرابطة والميزونه :

ولتفسير هذه القوى افترض العالم اليابانى فى سنة ١٩٣٤ أن البروتونات والنيوترونات تتبادل الشحنة داخل النواة بعد أن حسب قوى التبادل المختلفة واستنتج أنهما يتبادلان جسيماً مشحوناً شحنته تساوى شحنة الالكترون ووزنه أكبر من وزن الالكترون

وأقل من وزن البروتون واعتبر ذلك الاكتشاف فى ذلك الوقت مجرد فرض نظرى لتفسير القوى الرابطة إلا أن العلماء لم يلبثوا بعد سنتين أن اكتشفوا ضمن الأشعة الكونية جسيما له نفس صفات جسمية يوكاوا ووجدوا أنه قصير العمر وعرفوه بالميزون وعرف أن هذا النوع من الجسيمات يتحول إلى الكترونات وجسيمات أخرى من نوع النيوترينو وهذا تفسير انبعاث الالكترونات وجسيمات النيوترينو من النواة وعرف حديثا أن جسيمات يوكاوا وزنها يبلغ نحو ٢٧٥وزن الالكترون .

الأعداد الزوجية والفردية فى النواة :

وقد اتضح أن كل نيوترون يستطيع أن يربط نفسه بعدد لا يتجاوز اثنين من البروتونات وأن كل برتون يربط نفسه بعدد لا يتجاوز اثنين من النيوترونات ولذا كان من المنتظر أن تكون الذرة مستقرة إذا كان عدد بروتوناتها زوجيا وعدد نيوتروناتها زوجياً أيضا ومثال ذلك ذرة الهليوم وهى ذرة مستقرة تحتوى نواتها على بروتونين ونيوترونين ويحتوى مدارها على الكترونين والهليوم لا يدخل فى أى اتحاد كيميائى على الإطلاق وطاقته الرابطة عالية فتبلغ ٣٠ مليون الكترون

فولت فى حين أنها ٢ر٢ مليون الكترون فولت للديوتريوم .

ولذا فالمواد التي يكون عدد البروتونات والنيوترونات زوجيا فى ذراتها تعتبر وافرة فى الطبيعة فى حين أن المواد التي تكون ذراتها فردية العدد فى بروتوناتها ونيوتروناتها تكن نادرة ومثال المواد الوفيرة الأكسجين الذى يبلغ عدد برتوناته ٨ وعدد نيوترناته ٨ أيضاً أما الليثوم الذى عدد بروتوناته ٣ فنادر الوجود كما أن قليلا من الدرات ذات العدد الفردى للبروتونات والنيوترونات تعتبر مستقرة مثال ذلك الديوتريوم والليثيوم والبورون والنتروجين حسب ما هو مبين بالجدول ٢ :

جدول (٢)

الذرات المستقرة من بين فردية العدد فى البروتونات والنيوترونات

نوع الذرة	عددالبروتونات	عدد النيوترنات	العدد الكتلى
الديوتريوم	١	١	٢
اللثيوم	٣	٣	٦
البورون	٥	٥	١٠
النتروجين	٧	٧	١٤

وباقى الذرات من هذا النوع ذرات مشعة وتتحول بعد أن ينبعث منها الكترون أو بوزترون .

ومن دراسة خواص الذرات المختلفة وجد أنه إذا كان العدد الكتلي زوجيا وكان كذلك عدد البروتونات وعدد النيوترونات زوجيا فإنه من الممكن وجود عدة نوى مستقرة تبلغ اثنين أو ثلاثة.

وإذا كان العدد الكتلي زوجيا وعدد البروتونات فرديا وعدد النيوترونات فرديا يا كذلك ، فالقاعدة أن جميع النوى في هذه الحالة تكون غير مستقرة باستثناء النوى الخفيفة المذكورة في جدول ٢ ومن أمثلة النوى غير المستقرة نظير الفوسفور الذى عدده الكتلي ٣٠ أو ٣٢ ويمكن صناعتها في المعمل .

فإذا استخدم جسيم ألفاً لتقذف به نواة الألومنيوم نتج عن التفاعل نظير الفوسفور الذى عدده الكتلي ٣٠ وعدد بروتوناته ١٥ ونيوتروناته ١٥ وكذلك يمكن إنتاج الفوسفور الذى عدده الكتلي ٣٢ عند قذف نواة الفوسفور ٣١ بالنيوترونات وفي هذه الحالة يصبح عدد النيوترونات ١٧ ولكن هذه النظائر المصنوعة في المعمل غير مستقرة بينما الفوسفور ٣١ وبه ١٥ بروتون ، ١٦ نيوترون هو الوحيد المستقر فى مجموعة نظائر الفوسفور .

الإنشطار النووى

أبحاث تحول العناصر عند العرب

منذ أكثر من ألف سنة وفى القرن الأول الهجرى فكر الكيماويون العرب فى تحويل العناصر بعضها إلى بعض وكان أولهم خالد بن يزيد وتلاه جابر بن حيان ثم أبو بكر الرازى الطبيب الكيماوى والفيلسوف وكان الجميع يهدفون إلى تحويل العناصر إلي ذهب بالطرق الكيماوية ولو أننا نعلم الآن أن الطرق الكيماوية لا تؤدى إلي تحويل العناصر إلا أن فكرة إمكان التحول فى حد ذاتها التى أصبحت الآن ممكنة بالطرق الطبيعة بعد أن أصبح لدى الإنسان فهم أعمق لأسرار الذرة هذه الفكرة كانت موجودة عند العرب من ألف سنة على الأقل وكانوا يتصورون أن الزئبق يمكن أن يتحول إلى ذهب وعرف أيضا أن كل المواد يمكن أن ترجع إلى عناصر أساسية ومن هنا تطور علم الكيماء وعرفت طرق التحليل المختلفة وعرف التكليس والتصعيد إلي غير ذلك وكان أشهر

علماء العرب فى ذلك الوقت هو جابر بن حيان ومن العرب انتقل البحث فى هذا الموضوع إلى أوربا .

حارة الذهب :

فى وسط أوربا ، وفى قلب تشكوسلوفاكيا ، فى مدينة براغ ، حيث توجد القلعة القديمة لملوك بوهيميا تقع حارة الذهب !! هذا هو المكان الذى استخدمه الإمبراطور رودلف الثانى منذ أكثر من ثلثمائة سنة كمحطة أبحاث سرية للحكومة أقام فيها الكيماويون وكانت مهمتهم محاولة الحصول على الذهب الصناعى . وقد كانوا يطلقون على هدفهم الكشف عن حجر الفلاسفة وقد قدم لهم الإمبراطور مساعدات عديدة وأصبح أحد الهواة فى العلم والفلك وربما كان السبب فى الاهتمام بعلم الكيماء فى ذلك الوقت التقدم الذى أحرزه العلم قبل ذلك حينما امكن تحويل الرخام إلى غاز والمعدن إلي ملح فلم لا يحاولون صناعة الذهب بتحويل أحد العناصر الأخرى إليه كما حاول العرب من قبل ؟ .

الطبيعة النووية منذ ٤٠ سنة :

هذا هو موقف علماء الطبيعة النووية منذ نحو أربعين سنة وهو يماثل موقف الكيماويين منذ ثلاثة قرون أو أكثر .

نجح رزر فورد فى تحويل ذرات النتروجين إلى أكسجين ومنذ ذلك الوقت وعلماء الطبيعة يبذلون جهدهم للبحث عن سر النواة وعن تفاعلات نووية جديدة .

أهم التفاعلات النووية

وتحدث أهم التفاعلات النووية عند قذف الهدف بالبروتون أو الديوترون أو جسيم ألفا أو النيوترون كما هو مبين فى الجدول الآتى :

جدول (٣) أهم التفاعلات النووية وما ينتج عنها . لا يبين الجدول أشعة جاما التى يمكن انبعاثها فى المراحل المختلفة

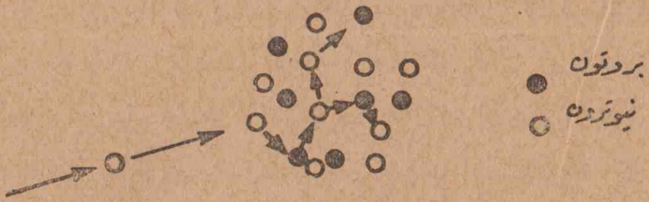
نوع القذيفة النووية	حالة النواة بعد التقاف القذيفة مباشرة	الجسيمات المنبعثة من النواة	حالة النواة بعد انبعاث الجسيمات منها	الجسيمات المنبعثة من النواة الجديدة	الحالة النهائية للنواة
بروتون	غير مستقرة	بوزترون	مستقرة	—	—
بروتون	نواة مركبة	جسيم ألفا	مستقرة	—	—
بروتون	نواة مركبة	نيوترون	غير مستقرة	بوزترون	مستقرة
ديوترون	نواة مركبة	بروتون	غير مستقرة	الكترون	مستقرة
ديوترون	نواة مركبة	جسيم ألفا	مستقرة	—	—
ديوترون	نواة مركبة	نيوترون	غير مستقرة	بوزترون	مستقرة
جسيم ألفا	نواة مركبة	بروتون	مستقرة	—	—
جسيم ألفا	نواة مركبة	نيوترون	غير مستقرة	بوزترون	مستقرة
نيوترون	غير مستقرة	الكترون	مستقرة	—	—
نيوترون	نواة مركبة	بروتون	غير مستقرة	الكترون	مستقرة
نيوترون	نواة مركبة	جسيم ألفا	غير مستقرة	الكترون	مستقرة

وعلاوة على هذه التفاعلات تنتج بعض تفاعلات أخرى نتيجة تفاعل النواة مع أشعة جاما .

النواة المركبة :

وتفصيل هذه التفاعلات بينه بوهر حين فرض أن القذيفة النووية إذا أصابت نواة تستقر فيها قليلا فتضيف القذيفة إلى النواة طاقة حركتها التي دخلت بها إلى النواة وتوزع هذه الطاقة على أفراد النواة فإذا كانت النواة خفيفة وليست مكتظة بالنيوكلونات فإن القذيفة النووية يحتمل أن تنفذ خلال النواة كما ينفذ الضوء خلال الزجاج دون أن يعترض مرورها شيء. أما إذا كانت النواة تحتوى عدداً أكبر من النيوكلونات فهناك احتمال التصادم بينها وبين القذيفة وعندئذ توزع الطاقة القذيفة على النيوكلونات بسرعة كبيرة ثم على النواة كلها شكل ١١ ويطلق على النواة حينئذ اسم النواة المركبة .

ويوضح شكل ١١ صورة نواة يتقدم نحوها نيوترون ترمز له بدائرة بيضاء فى حين ترمز للبروتون بدائرة سوداء وكما يتضح من الأسهم فإن جميع الجسيمات النووية داخل النواة تتلقى دفعة من النيوترون القريب الساقط عليها من الخارج وعندما يسقط النيوترون على النواة وتوزع طاقة على النواة كلها يقال للنواة



(شكل ١١) النيوترون فى هجومه على النواة

إنها أصبحت ساخنة ويشبه ذلك إطلاق رصاصة على كومة من الرمل فهى تسخن بعد انطلاق الرصاصة عليها ولنأخذ لذلك مثلا جسما طاقته ٨ مليون الكترون فولت أطلق على نواة ما فبمقارنة ذلك بقوانين الحركة للغازات نجد أن درجة الحرارة لهذه النواة تصبح نحو ١٠٠٠٠ مليون درجة وهى درجة عالية ولكنها تؤثر فقط فى الجزء الصغير الذى تسقط عليه، وبمقارنة النواة بقطرة الماء نجد أن النواة يجب أن تتبخر عند درجات الحرارة العالية كما تتبخر قطرة الماء ومعنى ذلك أن جسيما أو أكثر من داخل النواة يجب أن تنبعث منها والنواة المركبة نواة غير مستقرة يجب أن تتخلص من جزء من طاقتها حتي تصبح نواة مستقرة .

ويكون التخلص من الطاقة الزائدة على هيئة أشعة جاما أو بقذف جسيم معين كما هو واضح فى جدول ١ — وتحدث

منافسة بين الطرق المختلفة للتخلص من الطاقة الزائدة وأيهما أسرع فى تقديم الخدمة للنواة المركبة بحمل العبء الأكبر. ومثال ذلك تحول البروتون إلى نيوترون وانبعاث الكترون نتيجة لهذا عملية بطيئة ومعقدة ولذا فاحتمال حدوثها أضعف من احتمال انبعاث أشعة جاما أو نيوترون ، فإذا تخلصت النواة من طاقتها على هيئة الكترون ينبعث فيها فإنها تفعل ذلك كعملية ثانوية بعد أن يكون المنافس القوى قد أدى للنواة الخدمة الكبرى بتخليصها من الجزء الأكبر من الطاقة بإطلاق نيوترون أو أشعة جاما ، مثال ذلك التفاعل بين بروتون ونواة البورون فهو تفاعل تتكون عنه نواة مركبة من الكربون عددها الكتلي ١٢ وعددها الذرى ٦ تتخلص هذه النواة من طاقتها الزائدة بإطلاق نيوترون فيصبح عددها الكتلي ١١ ويبقى عددها الذرى كما هو ولذا تكتب ٦ ك ١١ [١] وتعيش هذه النواة الجديدة ٢٠ دقيقة ثم ينبعث منها بوزترون (الكترون موجب) فتعود مرة أخرى إلى البورون (بو ١١) وهى نواة مستقرة .

الامتصاص الرنينى .

وكما أن للالكترونات فى مداراتها حول النواة مستويات

---

(١) ٦ك١١ ترمز للكربون الذى عدده الكتلى ١١ وعدده الذرى ٦ .

معينة للطاقة فإن للنواة أيضاً مستويات معينة واذا أطلق نيوكلون نحو النواة بطاقة تتفق مع طاقة أحد المستويات فإن احتمال دخوله واستقراره فى النواة يكون كبيراً ويختلف الأمر هنا عنه فى الطبيعة الكلاسيكية فالقذيفة النووية تسلك مسلك الموجة فكما أن جهاز الراديو يلتقط الأمواج التي يعد لاستقبالها وكما أن الشوكة ذات التردد المعلوم تحدث رنيناً مع أنبوبة صوتية ذات طول معين فإننا نتحدث فى الطبيعة النووية عن الالتقاف الرنينى حينما تكون طاقة القذيفة متفقة مع أحد مستويات الطاقة فى النواة .

النيوترون قذيفة نووية صائبة :

عندما أجرى كوكوفت ووالتين تجربة على تفاعل البروتونات مع نواة اللثيوم وجد أن احتمال إصابة الهدف فى مثل هذا التفاعل ١ إلى مليون والسبب فى ذلك أن النواة هدف صغير يلزم أن تقطع القذيفة مسافة مائة مليون ذرة قبل أن تصيب نواة كما أن القذيفة الموجبة تتفاعل مع كثير من الالكترونات السالبة فى طريقها مما يفقدها الكثير من طاقتها وفى كثير من الحالات تفقد القذيفة كل طاقتها بهذه الطريقة قبل أن يصادفها نواة ،

والسبب الثانى هو أن القذائف القليلة التي تجتاز العقبة الأولى سوف تصادف عقبة أخرى كبيرة هى قوة التنافر بين القذيفة وبين شحنة النواة الموجبة واحتمال انحراف مسار القذيفة بناء على هذه القوة كبير .

إذا كانت هذه الأسباب تنصب أساسا على وجود شحنة موجبة على القذيفة مما أدى إلى ضعف احتمال التفاعل فما هى النتيجة إذا كانت القذيفة متعادلة الشحنة مثل النيوترون ؟ لأنه لابد أن تنتظر أن يكون احتمال التفاعل أكبر وهذه هى الحقيقة — فكل نيوترون يهدف نحو النواة يصيبها وتلتقفه فلا تفقد طاقته بواسطة الالكترونات التى يصادفها فى طريقه ولا ينحرف بسبب التنافر بينه وبين النواة — ولذا يعتبر النيوترون قذيفة نووية صائبة .

ولذا فليس اكتشاف النيوترون ذا أهمية فى معرفة تركيب النواة فحسب بل يعتبر ذا أهمية كبرى كقذيفة صالحة للاستخدام عند مهاجمة النوى ولا سيما الثقيلة منها .

وتلعب طاقة القذائف النيوترونية دوراً كبيرا فى هذه التفاعلات النووية فإذا كانت طاقة القذيفة متفقة مع أحد

مستويات الطاقة فى النواة موضع الهجوم فإن القذيفة تستقر فى النواة وتحدث فيها تغيرا .

أما إذا لم يكن هناك رنين بين طاقة النترون ومستويات الطاقة فى النواة فإن القذيفة النيوترونية ترتد ثانية ولذا فحظ النوى الثقيلة من التفاعل النووى مع قذائف النيوترونات أكبر من حظ النوى الحقيقية نظرا لاحتوائها على مستويات كثيرة للطاقة وتؤدى النوى الخفيفة وظيفة المهدىء للنيوترونات عند اصطدامها بها ولهذه الوظيفة أهمية كبيرة الى جانب أهمية تفاعلات الالتقاف الرنينى فهي تلعب دورا كبيرا فى الطاقة الذرية .

عناصر ماوراء اليورانيوم :

عندما عرف أن مادة اليورانيوم بعد سلسلة من التحولات النووية تتحول إلي رصاص تساءل العلماء عما إذا كان اليورانيوم نفسه حلقة فى سلسلة تبدأ عند مادة ذات عدد كتلى أكبر بالرغم من عدم ظهور هذه المادة فى الطبيعة وأصبح من الواضح أن المواد الأثقل من اليورانيوم إذا كان لها وجود فإنها لابد وأن تكون قد تلاشت من دنيا الملاحظة واختفت نهائيا وهذا مادعا العالم الإيطالى فرمى فى سنة ١٩٣٤ لاكتشاف المواد فوق اليورانية

التى يمكن أن تكون قد تلاشت منذ ألف مليون سنة تقريبا ، فقد استطاع فرمى أن يقذف نواة اليورانيوم وبعض المواد الثقيلة بالنيوترونات وإذا كان العدد الكتلى لليورانيوم ٢٣٨ والعدد الذرى ٩٢ فإن العدد الكتلى يزداد إلى ٢٣٩ بعد امتصاص النيوترون ثم ينبعث منه الكترون فيظل العدد الكتلى ٢٣٩ ويتحول العدد الذرى إلى ٩٣ إذ يتحول نترون إلى بروتون . ومعنى ذلك أن اليورانيوم يتحول بذلك إلى مادة أخرى تفوق اليورانيوم فى عددها الذرى وظهر من تجربة فرمى عدة نوى بعضها من العناصر فوق اليورانية المنتظرة والبعض الآخر لم يمكن التعرف عليه وحذت حذو فرمى فى هذه التجربة عدة معامل فى برلين وباريس واكتشفت نوى جديدة أكثر وأصبح الموقف أكثر تعقيدا .

الانشطار :

وفى سنة ١٩٣٨ وجد الباحثون فى باريس نواة تشبه فى خواصها عنصر (اللانثانام) وهو عنصر عدده الذرى ٥٧ وهو عدد أقل من عدد اليورانيوم وهذا مما يزيد الموقف تعقيدا . وفى برلين أعاد هان واشتراسمان التجربة ووجدا أن إحدى

النوى الناتجة يشبه الراديوم الذى عدده الذرى ٨٨ وهذا أمر غريب إذ عندما يتحول عدد اليورانيوم من ٩٢ إلى ٨٨ يلزم أن يفقد اليورانيوم جسمين من جسيمات ألفا ولكن جسيمات ألفا لم تكتشف خلال التجربة ، وعندما اتجه البحث إلى الفصل الكيماوى وجد أن المادة المشعة التى قيل عنها إنها الراديوم ليست إلا مادة الباريوم وعددها الذرى ٥٦ ولما كان وزن ذرة الباريوم يزيد قليلا عن نصف وزن ذرة اليورانيوم فليس لهذه المشكلة غير حل واحد وهو أن ذرة اليورانيوم لابد أن تكون قد انشطرت شطرين وهذا هو ماتحقق بالتجربة إذ ثبت أن نواة اليورانيوم إذا أصابتها قذيفة نترونية فإنها تنشطر شطرين متساويين تقريبا ، وسمي ذلك بالانشطار النووى وهو يختلف عن التفاعلات النووية الأخرى .

النواة وقطرة الماء :

وعندما نشر هذا البحث فى سنة ١٩٣٩ ، سارع فريش ومايتنر وكانا قد غادرا ألمانيا النازية فى ذلك الوقت إلى بيان أهمية هذا التفاعل وشرحا كيفية حدوثه وبينا أن تكسر النواة الثقيلة إلي قطعتين متساويتين تقريبا يحقق فكرة بوهر

عن تركيب النواة التى أدت إلى تشبيه النواة بقطرة السائل ، فقطرة الماء متماسكة بسبب وجود قوى تحاول جعل سطح الماء أصغر مايمكن مما يؤدى إلى تكوين القطرة الكرية كذلك نوى الذرة مجموعات متماسكة من الجسيمات ممسوكة بعضها مع بعض بواسطة قوى التبادل النووية ، ولذا فالنواة قريبة الشبه من قطرة الماء الصغيرة ، ويلاحظ أن قطرات الزئبق الصغيرة اقرب ما تكون إلى الكرة بينما إذا اتحدث قطرات الزئبق الصغيرة كونت حجما كبيرا يزداد تفرطحا كلما كبر ، والسبب فى ذلك أن قوة الجاذبية الأرضية تؤثر على قوى التجاذب داخل القطرة مما يؤدى إلى هذا الشكل المفرطح . وفى النواة تكبر قوى التنافر بين البروتونات المشحونة داخل النواة كلما زاد عددها اى كلما كبر حجم النواة وهذا هو السبب فى ان النوى الثقيلة تحتاج إلى ان يكون عدد النترونات فيها أكبر من عدد البروتونات وكما أن لحجم القطرة حدودا فإن حجم النواة كذلك يجب أن يكون محدودا فلا يجب أن يزيد العدد الذرى عن ١٠٠ وهذا يتفق مع ماسبق أن بيناه من أن النوى التى يزيد عددها الذرى عن ٨٣ (البزموث) هى نوى ذات فعالية إشعاعية لأنها كبيرة .

ومن أوجه الشبه بين النواة والقطرة أن القطرة يتبخر بعضها إذا زودت بطاقة معينة وكذلك النواة ينبعث منها جسيم أو شعاع من أشعة جاما إذا أصابتها قذيفة نووية.

وقد بينت الآنسة ماتيز وفريش أن قطرة، الماء إذا زودت بطاقة معينة فإنها يمكن أن تنفعل بطريقة أخرى فيمكن أن تتكسر إلى قطرتين صغيرتين أقرب إلى الشكل الكرى من القطرة الكبيرة وهذا التكسر أقرب مايمكن إلى الانشطار الذى يحدث فى دنيا النواة ومعنى ذلك أن الانشطار عملية يمكن أن تحدث فقط فى النوى الثقيلة والأقل استقراراً وهذا هو حقيقة ما ثبت بالتجربة فقد اتضح أن أثقل المواد وهى الثوريوم والبروتواكتينوم واليورانيوم ذوات العدد الذرى ٩٠، ٩١، ٩٢ هى المواد التى يحدث فيها الانشطار.

سرعة انتشار بحوث الانشطار فى أوائل الحرب العالمية الثانية.

وما لبث البحث الذى نشره هان واشتراسمان فى يناير سنة ١٩٣٩، أن أحدث ضجة كبرى فى الأوساط العلمية لما له من أهمية فقد أعقبة نشاط علمي فى جميع أنحاء العالم، وقد كان فى ذلك الوقت الأستاذ بوهر فى اجتماع علمي فى واشنطون

فتباحث مع زملائه الأمريكيين وبسرعة فائقة توالت التجارب ونشر فى ١٥ فبراير سنة ١٩٣٩ ، أربعة بحوث تؤيد ما حصل عليه هان وشتراسمان من نتائج كما نشط العلماء فى أوربا كذلك ونشر جوليوت فى باريس نتائج مماثلة فى ٣٠ يناير سنة ١٩٣٩ وكتب فريش مقالا فى إحدى المجلات الإنجليزية فى ١٨ فبراير يصف ملاحظة الانشطار .

أهمية الانشطار النووى .

وتقع أهمية اكتشاف الانشطار فيما يصحبه من انطلاق طاقة غير عادية فقد سبق أن اكتشف آستون فى سنة ١٩١٩ جهازا سمي مطياف الكتلة أمكن بواسطته تعيين أوزان النوى المختلفة وتبين من استخدام هذا الجهاز أن أغلب العناصر تحتوى علي نظائر وأمكن قياس أوزان جميع النوى المعروفة وعرف أن وزن نواة معينة لا يساوى وزن مجموع البروتونات والنترونات الداخلة فى تركيبها، فوزن بروتونين ونيوترونين فى نواة الهليوم أكبر من وزن نواة الهليوم ويسمي فرق الوزن بنقصان الكتلة وهو يتحول إلي طاقة وبمقارنة الأوزان الذرية التى أمكن معرفتها باستخدام مطياف الكتلة عند ما يزيد وزن النواة من

النوى الخفيفة إلي النوى الثقيلة وجد أن الفرق بين وزن النواة ومجموع وزن مركباتها يزداد تدريجاً ، وقد وجد أن نواة اليورانيوم تتكسر بالانشطار إلى شطرين مجموع وزنهما أقل من وزن نواة اليورانيوم وينبعث نقصان الكتلة على هيئة طاقة هائلة ، وقد أثبت فرنيشن وجوليوت أن هذه الطاقة تنبعث عند إصابة نواة اليورانيوم بالنترونات ويبلغ الوزن الذرى لحاصلات الانشطار نحو ١٤٠ ، ٩٠ ويمكن أن تنتج مجموعة من العناصر المختلفة ما بين السلنيوم واللانثانام وهذه الحاصلات الانشطارية ليست مستقرة وإنما هي نظائر مشعة تتحلل إلي شكل مستقر بعد أن تنبعث منها الكترونات ومعنى هذا أن الطاقة الناتجة لا تتحول كلها إلى طاقة حركة بل يستنفد جزء منها في التحلل الإشعاعي .

رطل اليورانيوم : رحلة لإحدى السفن عبر الأطلنطى .

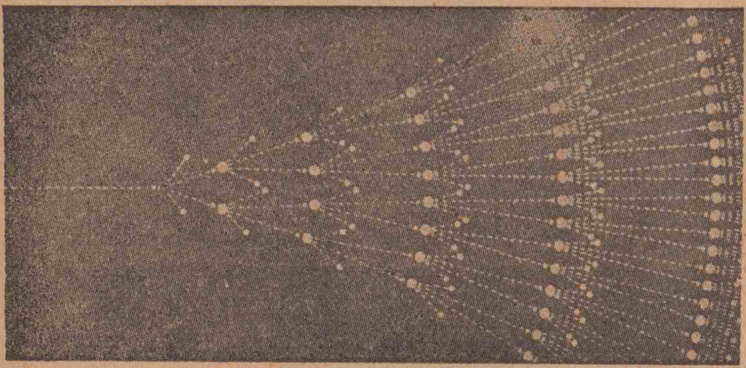
وفي سنة ١٩٤٠ قيست طاقة قطع الانشطار وعرف أن رطلا من اليورانيوم يعطي طاقة قدرها ١٠ مليون كيلووات ساعة بعد الانشطار وهذا يتفق مع الحسابات الخاصة بنقصان الكتلة ، واتضح أن رطل اليورانيوم يكفى لتزويد سفينة كبيرة بالقوة لتعبر محيط الأطلنطى .

الانشطار المتسلسل :

في سنة ١٩٣٩ اكتشف جوليوت ومساعداه هالبان وكوارسكى أن انشطار اليورانيوم يتولد عنه فائض من النيوترونات وحقق هذا الاكتشاف أندرسون وآخرون في أمريكا وانبعاث عدد من النيوترونات من الانشطار يزودنا بمفتاح انطلاق الطاقة الذرية فإذا أمكن الاستفادة من فائض النيوترونات لإصابة قوى اليورانيوم لتنفجر ، لنتج عن الانفجار عدد آخر من النيوترونات قادر على مهاجمة نوى اليورانيوم الأخرى ويتسلسل التفاعل وتنطلق عنه طاقة هائلة .

القنبلة الذرية

كثيراً ما تحدث المتحدثون من وقت لآخر قبل الحرب الأخيرة عن انطلاق الطاقة الذرية ، ولو أن العلماء اعتبروا هذا الاحتمال بعيداً ، إلا أن اكتشاف الانشطار فى سنة ١٩٣٩ قرب هذا الاحتمال وأوجد مجالا للتفكير فى محاولة إطلاق هذه الطاقة على نطاق واسع ، فقد عرف أن اليورانيوم



(شكل ١٣) التفاعل المتسلسل الناتج من انشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ أو البلوتونيوم حيث تنطلق عدة نيوترنات تسبب انشطار نوى أخرى ويتسلسل التفاعل وتخرج طاقة هائلة

ينشطر إذا أصابته قذيفة نترونية ، وعرف أن عددا من النيوترونات ينطلق عقب هذا الانشطار ، وعرف التفاعل المتسلسل ، ولكن انفجاراً واحداً لم يحدث نتيجة التجارب التي أجريت على اليورانيوم فى ذاك الوقت ، ومعنى ذلك أن الانفجار يستلزم شروطا معينة ومن هذه الشروط أن يكون حجم اليورانيوم كبيرا نسبيا بحيث يمنع النيوترونات من ترك المادة قبل حدوث التفاعل ، وقد وجد بيران أن ٤٠ طناً على الأقل من أكسيد اليورانيوم يلزم تواجدها كقطعة واحدة قبل أن يحدث التفاعل المتسلسل وكذلك يلزم أن يكون اليورانيوم نقيا ، كما وجد أن الحجم والنقاوة وحدهما غير كافيين لحدوث الانفجار فإذا جمعنا قطعة نقية من اليورانيوم حجمها يساوى حجم إحدى صالات السينما فإنها لاتنفجر إذا ما عرضت لتيار كبير من النترونات ، والسبب فى ذلك أنه ليس من الضرورى أن كل نيوترون يصيب نواة اليورانيوم يحدث انشطارا .

وعندما بدأ «فرمى» تجربته سنة ١٩٣٤ افترض أن نواة اليورانيوم ٢٣٨ تلتقف النيوترونات الساقطة عليها لتكون اليورانيوم ٢٣٩ ، ودلت التجربة بعد ذلك على أن نواة اليورانيوم

٢٣٨ تنشطر فقط إذا كان النيوترون الساقط عليها سريع الحركة أما النيوترونات ذات السرعة المتوسطة فإنها تلتقف مكونة اليورانيوم ٢٣٩ دون أن يحدث انشطار ، وهذا هو ماوصفناه سابقا بالالتقاف الرنيني .

النيوترونات البطيئة هي القذائف الفعالة لإحداث الانشطار:

ولكنه لوحظ أيضاً أن الانشطار يحدث عندما تكون النيوترونات بطيئة جدا ، وفى أوائل سنة ١٩٣٩ تمكن بوهر ، هويلر من شرح هذه الظاهرة على أساس أنها تحدث عند تفاعل النيوترونات البطيئة مع اليورانيوم ٢٣٥ وفى سنة ١٩٤٠ تمكن نير من جامعة منيسوتا من تحضير عينة تحتوى على نسبة عالية من اليورانيوم ٢٣٥ وحققت التجارب على هذه العينة نظرية بوهر وهويلر .

والنيوترونات المنبعثة من الانشطار ذات طاقة عالية ، وبعض هذه النيوترونات يمكنها ان تسبب انشطار نواة اليورانيوم ٢٣٨ ولكن غالبيتها تلتقف مكونة اليورانيوم ٢٣٩ وقليل منها يصادف نواة اليورانيوم ٢٣٥ ويشطرها وأغلب الانشطار فى اليورانيوم ينتج عن نوى اليورانيوم ٢٣٥ ،

ومما يضعف تسلسل الانشطار الامتصاص الرنيني للنيوترونات داخل نوى اليورانيوم ٢٣٨ ولا بد لتشجيع استمرار الانشطار التخلص من عمليات الالتقاف ، وقد وجد أنه إذا خلط اليورانيوم بمادة خفيفة فإن كثيرا من النيوترونات تهدأ بالتصادم مع النوى الخفيفة بدلا من التقافها بواسطة نواة اليورانيوم ٢٣٨ ومن المواد التي تؤدى إلى تهدئة سرعة النيوترونات الماء الثقيل والكربون .

استبعاد إنتاج القنابل الذرية أول الأمر :

والقنبلة الانشطارية يجب أن تكون ذات حجم معين ، واذا بدأت القنبلة فى الانفجار فإنها تنشطر وتنفصل حاصلات الانشطار ، وبذا يصغر الحجم وينتهى التفاعل ، ولمنع هذا يلزم أن يتم التفاعل بسرعة وينتهى قبل انفصال قطع الانشطار ، ولما كانت تهدئة النيوترونات تستلزم بعض الوقت مما يؤدى إلى عدم إمكان حدوث الانفجار ، فقد استنتج بالحساب أن الانفجار السريع كان مستبعدا على هذا الأساس،وكان هذا فى رأى العلماء شيئاً جميلا إذ توقعوا إمكان استغلال الطاقة الذرية فى السلم فقط واستبعدوا استخدامها فى الحرب ، ولكن هذا

الحلم الجميل لم يلبث أن انقشع واتضح فى سنة ١٩٤٠ أن اليورانيوم ٢٣٥ لا ينشطر فقط بتأثير النيوترون البطيء ولكنه كذلك فى بعض الأحيان ينشطر تحت تأثير النيوترون السريع ، وبذا اتجهت الأفكار إلي شطر النيورانيوم المزود والذى يحتوى على نسبة كبيرة من اليورانيوم ٢٣٥ أو الذى أزيل أغلب اليورانيوم ٢٣٨ منه وقدر وزن القنبلة فى ذلك الوقت بما يتراوح بين كيلوجرام ومائة كيلوجرام وفى صيف سنة ١٩٤١ وكان معروفاً أن صناعة مثل هذه القنبلة ممكن ، ويعتمد على توافر مادة اليورانيوم ٢٣٥ وعلى إمكان فصلها من اليورانيوم الخام .

الحجم الحرج :

وإذا تم فصل مادة اليورانيوم ٢٣٥ أصبح التعامل معها شديد الخطورة ، فإن نيوترونا يقابل نواتها يستطيع أن يسبب انشطارها ، وما أكثر النيوترونات فى الجو ، وليس من الممكن حفظ المادة من أخطار النيوترونات ، ولكن قطعة صغيرة من المادة لا خطر منها مهما تعرضت للنيوترونات إذ يساعد صغرها على هرب النيوترونات منها وعدم الاحتفاظ بها ، ونيوترونات الانشطار الناتجة فى هذه القطعة الصغيرة تستطيع

أن تغادرها بسهولة دون إحداث انشطار ، ولكن الخطورة أن تزداد قطعة اليورانيوم حجما ، ويلزم ملاحظة أن زيادة الحجم تعمل على الاحتفاظ بالنيوترونات داخل المادة مما يزيد فى حجم التفاعل المتسلسل داخلها حتي إذا وصل الحجم إلى مايسمى بالحجم الحرج حدث الانفجار ، وهذا الحجم الحرج هو الحجم الذى لايمكن أن توجد قطعة من اليورانيوم أكبر منه بينما الأحجام الأقل يمكن أن توجد ويمكن تداولها بسهولة وكان لذلك من الضرورة حساب الحجم الحرج ومراجعته عمليا ولكن التجربة العملية فى غاية الخطورة لذلك أجريت بعض التجارب باستخدام كمية من المهدىء ثم أجريت تجارب بكمية من المهدىء أقل ثم أجريت تجارب على إقلال كمية المهدىء لإمكان الوصول إلى معرفة الحجم الحرج .

تفجير القنبلة :

ولما كانت مداولة قطعة من اليورانيوم أقل من الحجم الحرج ممكنة فقد وصل العلماء على أن تفجير القنبلة معناه إيجاد قطعتين من اليوزانيوم مجموع حجمهما يزيد على الحجم الحرج وحجم

كل منهما أقل من الحجم الحرج — ولا شك أن التفاعل يمكن أن يبدأ بمجرد اقتراب إحدى القطعتين من الأخرى ، ولذا يلزم العمل على تقريبهما بعضهما من بعض بسرعة فائقة حتى يكون التفاعل أسرع كأن تطلق إحدى القطعتين على الأخرى ويمكن الإقلال من الحجم الحرج إذا أحيطت بمادة عاكسة للنيوترونات وللعاكس فائدة أخرى وهى الاحتفاظ بالمادة لمدة أطول مما يساعد على زيادة التفاعل وقوة الانفجار .

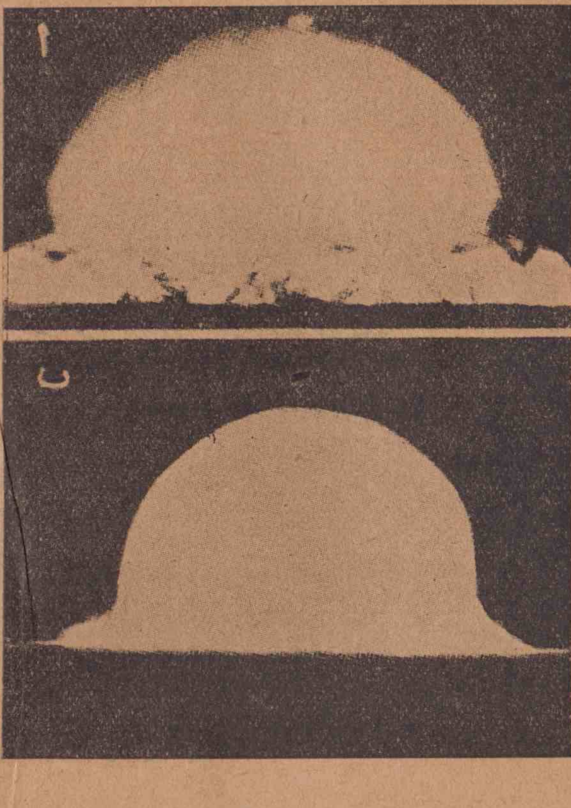
التجربة الأولى فى صحراء نيومكسكو :

وقد جربت القنبلة الأولى فى ١٦ يولية سنة ١٩٤٥ فى صحراء نيومكسكو ولم تكن التجربة ناجحة ولكن من شاهد التجربة يصف ظاهرة ضوئية شديدة نتجت من الحرارة الشديدة الناتجة من الانفجار .

وفى لحظة الانفجار تكون الذرات شديدة السرعة ويكون مركز الانفجار شديد الحرارة وربما تصل الحرارة إلى ملايين الدرجات ويمكن أن تخرج الطاقة على هيئة إشعاعات كما فى (شكل ١٤) .

قنبلة اليابان :

وقد اتضح من القنبلة التي ألقيت فى اليابان أنها مسحت



(شكل ١٤) أ ، ب القنبلة التجريبية التى ألقيت في صحراء نيومكسيكو بالقرب من الأرض



حـ — انفجار قنبلة باكينى تحت الماء

١٠ أميال مربعة من المدينة مما يستلزم ٢٠٠٠ طن من المتفجرات العادية ، ولكن تأثير الإشعاعات فى هذه القنابل كبير فتدل التقارير أن السكان الذين يعيشون فى نطاق مئات الأمتار من الانفجار يحترقون ويصبح لونهم أسود كالفحم وبعد ذلك المدى يصاب السكان بحروق من الإشعاعات ، وذلك علاوة على تأثير أشعة جاما التي تقتل الكرات البيضاء فى الدم وتحول دون إمكان تجلطه مما يسبب النزيف المستمر خلال الجلد وإتلاف الأنسجة ونخاع العظام وهذه الأخطار تسبب الوفاة المتأخرة ، وقد كان عدد الوفيات فى هيروشيما نحو ١٠٠٫٠٠٠ نفس .

المفاعلات الذرية

المفاعل النووى وسيلة يستخدم فيها الانشطار المتسلسل لإنتاج الحرارة والإشعاع والمواد المشعة ، ويعتمد عمله على استخدام النيوترونات الحرارية وفي هذه الحالة يسمى بالمفاعل الحرارى أو على استخدام النيوترونات السريعة التى تزيد طاقتها على مليون الكترون فولت ، وفى هذه الحالة يسمي بالمفاعل السريع . وتوجد أيضاً مفاعلات متوسطة تعتمد على استخدام نيوترونات طاقتها بضع مئات من الالكترون فولت .

الحاجة إلى مهدئ .

يحدث الانشطار المتسلسل في اليورانيوم ٢٣٥ نتيجة مرور النيوترونات فيها ولكن الحجم الحرج يكون صغيراً عندما تكون النيوترونات بطيئة أو حرارية ويكون أكبر إذا كانت النيوترنات سريعة ، والنيوترونات الخارجة نتيجة الانشطار تحمل طاقة تتراوح بين مليون ومليونين الكترون فولت واحتمال

الانشطار نتيجة النيوترونات الحرارية يفوق النيوترونات السريعة أكثر من ١٣ مرة ومعنى ذلك أنه إذا مرت مجموعة من النيوترونات السريعة داخل اليورانيوم وسبب أحد هذه النيوترونات السريعة انشطاراً فإن مجموعة مماثلة من النيوترونات الحرارية تسبب ثلاثة عشر انشطاراً فى المادة ولهذا السبب يلزم تهدئة النيوترونات ليكون مفعولها فى الانشطار أقوى فى اليورانيوم وهذا المهدئ يوضع حول قلب المفاعل ، وفى هذه الحالة يسمى المفاعل متغايراً أو يخلط بمادة اليورانيوم ويسمى حينئذ المفاعل متجانساً .

أجزاء المفاعل النووى .

يتكون المفاعل النووى أساساً من الأجزاء الآتية :

١ — مادة قابلة للانشطار .

٢ — مهدئ (فى المفاعلات الحرارية) .

٣ — أجهزة للتحكم فى معدل تقدم التفاعل المتسلسل .

٤ — وسيلة للتخلص من الحرارة المولدة عند تشغيل المفاعل .

٥ — درع واق من الإشعاعات المنبعثة من المفاعل .

٦ — وسيلة للتخلص من متخلفات الانشطار بين وقت وآخر .

المواد القابلة للانشطار :

يمكن استخدام إحدى المواد الآتية :

١ — اليورانيوم ٢٣٥ .

٢ — البلوتونيوم ٢٣٩ .

٣ — اليورانيوم ٢٣٣ .

أما اليورانيوم ٢٣٥ فيلزم للحصول عليه فصله من اليورانيوم الخام الذى يحتوى علي نسبة ١ : ١٤٠ من اليورانيوم ٢٣٥ بينما يحتوى علي باقى النسبة من اليورانيوم ٢٣٨ وطريقة الفصل تقتضى تكاليف كبيرة ولا تملك أجهزة الفصل إلا الدول الكبيرة مثل الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتى والمملكة المتحدة ، ويستخدم عادة اليورانيوم المزود الذى يحتوى علي نسبة أعلى من اليورانيوم ٢٣٥ ويحصل عليه صناعيا ويمكن استخدام اليورانيوم الخام فى المفاعل وفى هذه الحالة تتخذ كمية كبيرة منه تبلغ عشرات الأطنان ويتخذ الماء الثقيل أو الكربون كمهدئ ، وعند تشغيل المفاعل باستخدام اليورانيوم تتحول

مادة اليورانيوم ٢٣٨ إلى بلوتونيوم ٢٣٩ وهذا يمكن فصله كيماويا واستخدامه كوقود فى مفاعل آخر ويمكن الحصول علي اليورانيوم ٢٣٣ باستخدام الثوريوم ٢٣٢ الذى إذا أصابته قذيفة نيوترونية تحول إلى ثوريوم ٢٣٣ وهو مادة قصيرة العمر ، عمر نصفها يبلغ ٢٣ دقيقة وتتحول إلى بروتاكتينوم ٢٣٣ بعد أن ينفصل منه جسيم بيتا ثم يتحول البروتاكتينوم إلى يورانيوم ٢٣٣ بعد أن ينفصل منه جسيم بيتا آخر .

ومن هذا يتضح أن المادة الأساسية للطاقة الذرية هى اليورانيوم ٢٣٥ نظراً لتواجدها فى الطبيعة أما المادتان الأخريان — البلوتونيوم ٢٣٩ ، اليورانيوم ٢٣٣ فهما مادتان صناعيتان تليان المادة الأساسية ولو أنهما قد تفوقانها فى الاستخدام وهما مستخدمتان فى الوقت الحاضر والمستقبل لهما .

المهدئ :

اختبار مادة المهدئ محدود بشروط معينة فلا بد أن تكون مادة خفيفة لأن من شروط التهدئة إجبار النيوترون على فقد كمية كبيرة من طاقته عند اصطدامه بالمادة وهذا لا يحدث عندما يصطدم النيوترون بنواة ثقيلة ويلزم أن يكون المهدىء على

شكل سائل أو صلب حتى يمكن أن يوضع فى مكان مناسب وتعتمد كفاءة المهدئ علي قدرته على تخفيض طاقة النيوترون بالتصادم المرن إلى الطاقة الحرارية لتزداد قدرته على إحداث الانشطار كما يعتمد على قدرته على التقاف النيوترون للإقلال من عدد النيوترونات .

وفقد الطاقة بواسطة التصادم المرن يتأثر بعوامل ثلاثة :

١ — مقدار الطاقة المفقودة عند التصادم .

٢ — احتمال التقاف النيوترون بواسطة المهدئ .

٣ — احتمال استطارة النيوترونات بواسطة نواة المهدئ .

أما العامل الأول فيعتمد فقط على خفة المهدئ ولذا يختار المهدئ دائما من بين المواد الخفيفة ، ولكن احتمالات الالتقاف والاستطارة فيلزم معرفتها بالتجربة ومن المواد المستخدمة كمهدئ فى المفاعلات الماء العادى والماء الثقيل والكربون والمواد المقبولة لتأدية هذا الغرض هى البريليوم والأكسجين : ويجرب فى الوقت الحاضر استخدام المهدئات العضوية .

أجهزة التحكم :

يعبر عن معدل نمو التفاعل الانشطارى المتسلسل بثابت التكاثر «ت» .

لنفرض أننا فى لحظة معينة وجدنا أن عدد النيوترونات الداخلة فى تفاعل نووى = $ن_١$ ولنفرض أننا فى لحظة أخرى بعد أن حدث الانشطار وبعد أن حدث التفاف وهروب لعدد من النيوترونات وانضم إلى المجموعة عدد آخر ناتج من الانشطار وكان عددالنيوترونات فى هذه اللحظة $ن_٢$ حينئذ.

يمكن القول بأن ثابت التكاثرت = $\frac{ن_٢}{ن_١}$

وهذا يمثل الزيادة أو النقصان من جيل إلي جيل فى عدد النيوترونات فإذا كانت ت أكبر من ١ فإن التفاعل المتسلسل يتباعد ويتزايد عدد النيوترونات زيادة مطردة أما إذا كانت ت أقل من ١ فإن التفاعل لا يلبث أن ينتهى.

لنأخذ مثلا ت = ١٫٠٠٢ فى هذه الحالة تتوالد النيوترونات نحو ١٠٠٠ مرة فى جزء صغير من الثانية وتصبح نسبة عدد النيوترونات ٧٫٤ وينمو التفاعل نمواً كبيراً ويلزم وجود وسيلة سريعة وفعالة للتحكم فى عامل التوالد، والطريقة العادية هى وضع عدة عصى من الكادميوم أو الصلب المحتوى لقليل من البورون فى المفاعل حيث الكادميوم والبورون تمتص النيوترونات وتساعد على تقليل عددها وإذا كانت ت قريبة من الوحدة

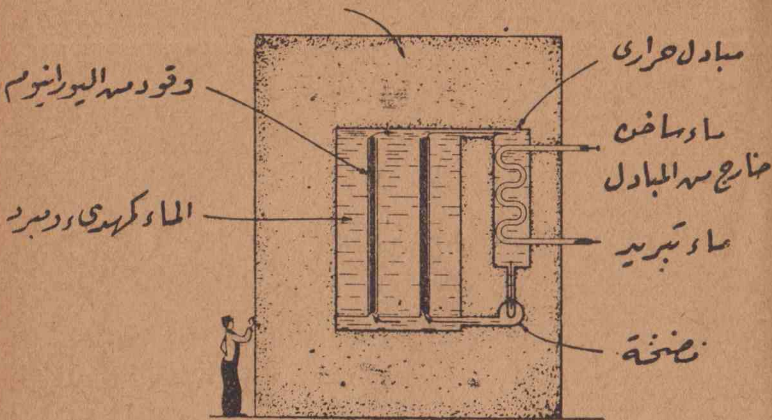
فإن النيوترونات المتأخرة تمثل الزيادة فى العدد من جيل إلى آخر وفى هذه الحالة يكون لدى أجهزة التحكم الفرصة للعمل .

تركيب المفاعل :

وأول مرحلة فى تركيب المفاعل هى وضع المهدئ وعصى التحكم والدروع الواقية ثم يضاف الوقود النووى تدريجيا إلي أن يزيد تدفق النوترونات داخل المفاعل دليلا على بدء التفاعل المتسلسل ويسمح بالتفاعل إلى أن تصل درجة الحرارة إلى النهاية العظمى المسموح بها ثم يصير إدخال عصى التحكم إلى أن تصل (ت) إلى الوحدة ويلزم حينئذ أن يكون التحكم تلقائياً بحيث تقابل زيادة فيض النيوترونات أو نقصها داخل المفاعل حركة من عصى التحكم داخل أو خارج المفاعل لتحافظ على توازنه أنظر شكل ١٥ .

التبريد :

وجد أن استهلاك جرام واحد من اليورانيوم ٢٣٥ فى اليوم يكفى لانتاج ١٠٠٠ كيلووات بصفة مستمرة ولكن لو لم تتخذ الوسائل اللازمة للتبريد فإن المفاعل يتحلل نتيجة لارتفاع درجة الحرارة والطريقة العادية لإزالة الحرارة الزائدة هى إمرار



(شكل ١٥) مبسط للمفاعل الذرى

سائل مبرّد داخل المفاعل ويلزم للمبرد ألا يلتقف النيوترونات أو يتحلل بواسطتها ويلزم أن تكون له صفات خاصة مثل حرارة نوعية عالية وموصلية حرارية عالية ودرجة غليان عالية إذا كان سائلا ويمكن استخدام الهواء ، وأهم عيوبه هو أنه يحتوى نحو ١ ٪ من الأرجون وغاز الأرجون يصبح مادة مشعة عند تصادمه مع النيوترونات ويشع جسيمات بيتا وأشعة جاما وعمر نصفه ١١٠ دقيقة . ومخلفات الهواء من المفاعل تدفع خلال مدخنة عالية لتفادى زيادة تركيز الهواء بهذا الأرجون المشع بالقرب

من سطح الأرض والماء مبرد مناسب ويفوق الهواء إلا انه محدود بدرجة غليان منخفضة .

الدرع الواقى :

تنتج من التفاعل المتسلسل كميات كبيرة من أشعة جاما والنيوترونات ويلزم حفظها من الخروج إلى الهواء ومدى أشعة جاما ينحصر بين ١ ، ٥ مليون الكترون فولت وتستخدم حواجز الخرسانة بكثافات مختلفة كدروع واقية نظراً لرخص سعره وسهولة تشكيلة . ويتخذ الماء وحواجز الخرسانة دروعا للوقاية من أشعة جاما ومن النيوترونات ومن المستحسن إضافة كمية من الحديد أو كبريتات الباريوم للخراسانة لزيادة كثافتها ويمكن بهذه الطريقة رفع كثافتها إلى ٤٫٥ جرام فى السنتيمتر المكعب.

إزالة نواتج الانشطار :

بعد تشغيل المفاعل مدة من الزمن يتحول جزء من اليورانيوم ٢٣٥ إلى مواد انشطارية مختلفة وجزء من اليورانيوم ٢٣٨ إلى بلونوثيوم ٢٣٩ وبعض هذه النواتج الانشطارية لها القدرة على امتصاص النيوترونات وإذا لم يتم التخلص منها ساعدت على الإقلال من عامل التكاثر بحيث يقل عن الواحد مما

يساعد على إبطال التفاعل المتسلسل ولذا يلزم فصل النواتج المختلفة من اليورانيوم وهذه العمليات جميعها يلزم إجراؤها خلف حوائط خرسانية ويلزم استخدام الأيدى الميكانيكية والتحكم فيها عن بعد فى جميع مراحلها .

أنواع المفاعلات :

أنواع المفاعلات مختلفة وتقسيمها يعتمد على عدة نواح فهى تقسم بالنسبة إلى طبيعتها أو إلى تركيبها أو إلى استخدامها فإذا راعينا طبيعتها فهى أنواع ثلاثة وتقسم بالنسبة إلى طاقة النيوترونات الخارجة منها إلى الأقسام الآتية :—

١ — مفاعلات سريعة .

٢ — مفاعلات متوسطة .

٣ — مفاعلات حرارية (بطيئة) .

وبالنسبة لتركيب الوقود والمهدىء تقسم قسمين : —

١ — مفاعلات متجانسة وفيها يوزع الوقود توزيعاً منتظماً فى المهدىء مثال ذلك أملاح اليورانيوم تذاب فى الماء أو الماء الثقيل .

٢ — مفاعلات متغايرة ويتكون الوقود من قضبان موزعة

بطريقة منظمة داخل المهدىء وبالنسبة للوقود فهى أنواع أربعة :—

١ — مفاعلات اليورانيوم الطبيعى ويحتوى على ٠٫٧ ٪ من اليورانيوم ٢٣٥ والباقى يورانيوم ٢٣٨ .

٢ — مفاعلات اليورانيوم المزود وتحتوى على نسبة أعلى من ٠٫٧ ٪ من اليورانيوم ٢٣٥ .

٣ — مفاعلات البلوتونيوم ٢٣٩ .

٤ — مفاعلات اليورانيوم ٢٣ .

وبالنسبة للمهدىء أنواع ستة : —

١ — مفاعلات الجرافيت .

٢ — مفاعلات الماء الخفيف .

٣ — مفاعلات الماء الثقيل .

٤ — مفاعلات البريلثيوم .

٥ — مفاعلات أكسيد البريليوم .

٦ — المفاعلات العضوية .

وبالنسبة للمبرد فهى ثلاثة أنواع : —

١ — المفاعلات المبردة بالغازات أو الهواء .

٢ — المفاعلات المبردة بالماء .

٣ — المفاعلات المبردة بالمعدن المسال .

وإذا رعينا الغرض الذى من اجله أنشىء المفاعل قسمنا أنواعه ثلاثة أقسام : —

١ — مفاعلات أبحاث .

٢ — مفاعلات إنتاج الوقود النووى .

٣ — مفاعلات لإنتاج القدرة الكهربائية .

دورة الوقود

نشر هان ، واشتراسمان نتائجهما عن الانشطار وعن الحصول علي مادة الباريوم من اليورانيوم عرف أن نواة اليورانيوم انشطرت إلى قطعتين إحداهما الباريوم ولما كان اليورانيوم الطبيعى نوعين العدد الكتلي للأول ٢٣٥ وللثانى ٢٣٨ فيلزم أن نتتبع ما يحدث للنوع الثانى كما تتبعنا الانشطار فى النوع الأول .

اليورانيوم ٢٣٨ يميل إلى الاحتفاظ بالنترون الذى يصيبه متحولا إلى يورانيوم ٢٣٩ وقد أجريت عليه عدة تجارب واكتشف نتيجة لهذه التجارب عنصران من العناصر فوق اليورانية وهما النيتونيوم والبلوتونيوم وعرف أن نواة اليورانيوم ٢٣٩ نواة غير مستقرة عمر نصفها ٢٣ دقيقة ينبعث منها الكترون وتتحول إلى مادة عددها الذرى ٩٣ تسمى النيتونيوم ولا تلبث أن ينبعث منها الكترون آخر وتتحول إلى نواة البلوتونيوم ٩٤ ومادة البلوتونيوم من المواد الذرية الهامة فهى فردية العدد الكتلى (٢٣٩) وتشبه إلى حد كبير اليورانيوم ٢٣٥ من ناحية قابليتها للانشطار .

وجاءت التقارير فى سنه ١٩٤١ تفيد أنه إذا حدث تفاعل متسلسل فى مادة اليورانيوم الخام فإن ذلك يؤدى إلى تكوين مادة البلوتونيوم بكميات يعتد بها وهذه المادة الجديدة يمكن فصلها كيماويا وهى تؤدى عمل مادة اليورانيوم ٢٣٥ لأغراض الانشطار وهذا معناه أن مادة اليورانيوم ٢٣٨ أصبحت أيضاً مادة ذات قيمة من ناحية إنتاج الطاقة الذرية لأنها تتفاعل لإنتاج البلوتونيوم القابل للانشطار ، مما يؤدى إلى زيادة الوقود الذرى إذ نسبة اليورانيوم ٢٣٨ إلى اليورانيوم ٢٣٥ تساوى = ١٤٠ : ١ .

ومن فوائد اكتشاف مادة البلوتونيوم إمكان تحضير وحدات ذرية لإنتاج القوى تزن نحو ٥٠ كيلوجرام بدلا من عشرات الأطنان عند استخدام اليورانيوم الطبيعى .

وإذا وجد البلوتونيوم بكميات كبيرة فإن التفاعلات المتسلسلة باستخدام النيوترونات السريعة تكون ممكنة وفى هذا التفاعل يمكن إطلاق الطاقة بمعدل كبير يعادل سرعة الانفجار .

ومادة البلوتونيوم يمكن اعتبارها مادة قابلة للانفجار النووى تمكننا صفاتها من فصلها كيماويا بدلا من فصل اليورانيوم ٢٣٥ من اليورانيوم الطبيعى بطرق مكلفة ، وعند بناء المفاعل

اقترح الخبراء استخدام مهدئ الكربون على شكل قوالب من الجرافيت توزع بينها قطع اليورانيوم واختير حجم قطع اليورانيوم بحيث تخرج منها النيوترونات السريعة إلى المهدئ وبوعد بين قطع اليورانيوم بما يسمح بحدوث ٢٠٠ اصطدام للنيوترون مع المهدئ قبل أن يصيب قطعة اليورانيوم الأخرى وهذا يؤدى إلى نقصان سرعة النيوترون فلا تلتقفه نواة اليورانيوم ٢٣٨ ولكنه يتحرك داخل المفاعل حتى يصادف نواة اليورانيوم ٢٣٥ .

وللحصول على الأبعاد الصحيحة والبيانات اللازمة بنيت بعض المفاعلات الصغيرة وأجريت عدة تجارب واستخدمت عصى التحكم من معدن الكادميوم لامتصاص فائض النيوترونات وكانت التجربة فى ذلك الوقت من أصعب الأمور ، فبنى المفاعل صغيراً وقيس فيض النيوترونات الناتجة من الانشطار مع زيادة الحجم تدريجاً إلى أن تم الوصول إلى الحجم الحرج وفى كل حالة يزداد حجم المفاعل يزداد حجم عصى التحكم بحيث يسهل التحكم فى الطاقة الناتجة بتحرك العصى — ولوحظ أن بعض النيوترونات لاتظهر إلامؤخراً بعد الانشطار بضع ثوان تصل إلى ستين ثانية من حدوث التفاعل ومن مميزات هذه النيوترونات المتاخرة أنها تسمح بالتغير التدريجى فى إنتاج القدرة التى تعقب

كل وضع جديد من أوضاع عصا التحكم ، وفى المفاعل الأول ثبّت منظم تلقائى لإدخال عصا التحكم فى المفاعل كلما زاد مستوى القدرة عن المطلوب وكان من الممكن إقفال المفاعل إذا أدخلت فيه عدة عصى من الكادميوم وكانت قدرة المفاعل الأول نصف وات وزيدت هذه القدرة إلي ٢٠٠ وات بعد عشرة أيام وإذا تم تشغيل المفاعل بهذه القدرة لإنتاج البلوتونيوم فإنه يلزم له نحو ١٠٠٫٠٠٠ سنه لإنتاج ما يكفي لصنع قنبلة ذرية واحدة ولكن تصميم هذا المفاعل لم يسمح بزيادة قدرته عن ذلك .

وحدث تطور فى التصميم فى المفاعل الثانى الذى بدىء تشغيلة فى نوفمبر ١٩٤٣ فجعل اليورانيوم على هيئة قضبان وجعل المفاعل كله على شكل مكعب وكانت قدرته ٨٠٠ كيلووات ثم زيدت إلى أكثر من ١٨٠٠ كيلووات وأمكن الحصول من هذا المفاعل علي بضعة جرامات من البلوتونيوم من كل طن يورانيوم كل يوم وبمرور الزمن يزداد فقد نوعى اليورانيوم ٢٣٥ : ٢٣٨ إلى أن يأتى وقت تصبح فيه كمية اليورانيوم ٢٣٥ غير كافية وتظهر كمية من البلوتويوم وتظهر كذلك فى الوقود شوائب من القطع الانشطارية تحدث له تسمما مما يستلزم إيقاف المفاعل وتزويده بوقود جديد .

دورة اليورانيوم المزود :

تبدأ هذه الدورة باليورانيوم المزود بالنظير ٢٣٥ ويمكن الحصول على نسب مختلفة منه ما بين ١ ٪ : ٩٩ ٪ وإن كان الوقود في هذه الدورة يتكلف مصاريف باهظة لما تتكلفه أجهزة فصل اليورانيوم فإن الميزات التى يحصل عليها في صغر حجم المفاعل والتصميم تجعله مناسبا في البلاد التى تنتج هذا النوع من الوقود وفى الجدول الآتى بيان لبعض الكميات المستخدمة فى مفاعلات معينة :

جدول (١)

مكان المفاعل	قدرته الحرارية	نسبة تزويد اليورانيوم	الكتلة الحرجة	تحميل القلب بالوقود
أول مفاعل قوى الاتحاد السوفيتى ١٩٥٤	٣٠ ميجاوات	٥٪	١٢ر٨ كجم يورانيوم ٢٣٥	٥٥٠ كجم من اليورانيوم المزود
درسدن (أمريكا) ١٩٦٠	٦٢٦ ميجاوات	١ر٥٪	٤٠ر٥ كجم يوراليوم ٢٣٥	٦٢ طن ثانى أكسيد اليورانيوم
معمل أرجون (أمريكا) ١٩٥٦	٢٠٠ ميجاوات	١ر٤٤٪	١ر٤٧ كجم يورانيوم ٢٣٥	٦ر٥ طن يورانيوم طبيعى يورانيوم ٢٣٥ (٢٦ر٤ كجم)
مينيسيوتا (أمريكا) ١٩٦١	٥٨ ميجاوات	٩٣٪	١٢٧ كجم يورانيوم ٢٣٥	٢٠ر٩ كجم أكسيد يورانيوم
كال (ألمانيا) ١٩٦٠	٦٠ ميجاوات	٢ر٦٪	٢٠ كجم يورانيوم ٢٣٥	٦ر٥ طن
انشاص (الجمهورية العربية المتحدة ١٩٦١	٢ ميجاوت	١٠٪	٤ كجم يورانيوم ٢٣٥	ثانى أكسيد يورانيوم ٦٠ كجم

وبدراسة هذه الدورة نجد أن نسبة اليورانيوم ٢٣٨ قليلة نسبيا إذ نسبة اليورانيوم ٢٣٥ كبيرة ولهـذا السبب يقل فى هذه المفاعلات نسبة البلوتونيوم المنتجة كما تزيد قيمة الاحتراق ويمكن فى تصميم هذا النوع من المفاعلات استخدام الماء العادى كمهدىء ومبرد مما يقلل تكاليف الإنشاء.

٢ — دورة اليورانيوم الطبيعى :

وعندما يستخدم اليورانيوم الطبيعي كوقود يلزم استخدام كمية كبيرة منه تبلغ عشرات الأطنان كما في جدول (٢) وفي أثناء التشغيل يحترق جزء من اليورانيوم ٢٣٥ وهو النظير الذى يحدث فيه الانشطار ويتحول اليورانيوم ٢٣٨ إلى بلوتونيوم ٢٣٩ وفي هذه الأنواع من المفاعلات تكون درجة الاحتراق أقل منها فى مفاعلات اليورانيوم المزود والسبب فى ذلك التأثير الإتلافى للإشعاع على الوقود وكذلك التسمم الذى يحدث نتيجة لتراكم نواتج الانشطار وفي هذه المفاعلات يكون معدل إعادة معالجة الوقـود المحترق أكبر منه في النوع الأول.

جدول (٢)

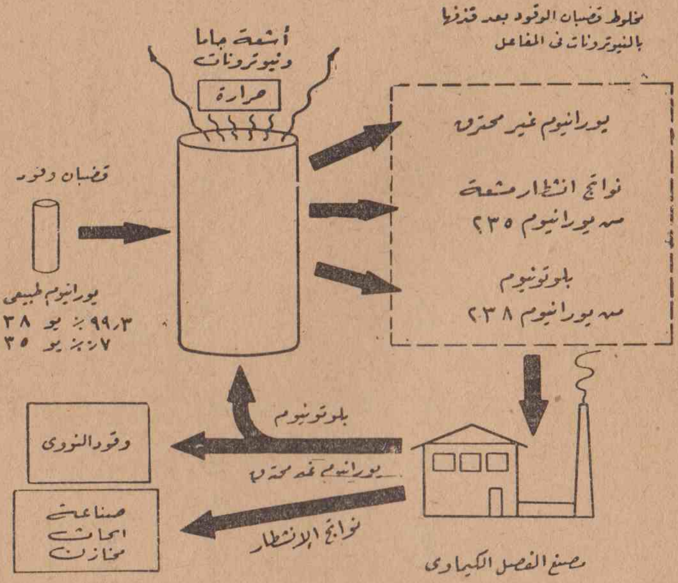
مكان المفاعل	قدرة المفاعل الحرارية	المهدىء	المبرد	الكتلة الحرجة	تحميل القلب من الوقود
أونتاريو (كندا) ١٩٦١	٣ر٨٣ ميجاوات	٢٢ طن ماء ثقيل	ماء ثقيل	٤٧٧٠ كجم	١٥ طن يورانيوم
ستوكهولم (السويد) ١٩٦١	٦٥ ميجاوات	ماء ثقيل	ماء ثقيل		١٨ طن أكسيديورانيوم
بركلى (إنجلترا) ١٩٦١	٥٥٧ ميجاوات	جرافيت	ثاني أكسيد الكربون	٣٥ طن	٢١٣ طن يورانيوم
برادول (إنجلترا) ١٩٦١	٥٣١ ميجاوات	جرافيت	»	٢٩ر٥ طن	٢٣٧ طن يورانيوم
كولدرهول (إنجلترا) ١٩٥٩	١٨٠ ميجاوات	جرافيت	»	٣١ طن	١٢٧ طن يورانيوم

ولما كان البلوتونيوم فى هذه المفاعلات يعتبر من أهم نواتجها فيلزم فصله لاستخدامه كوقود لمفاعل جديد ويمكن إعادة البلوتونيوم للمفاعل نفسه بعد إعادة معالجته لتعويض المحترق والبلوتونيوم يستخدم علاوة على ذلك وقودا للمفاعلات السريعة أو في مفاعلات الثوريوم وشكل (١٦) يوضح دورة الوقود فى مفاعلات اليورانيوم الطبيعي .

٣ — دورة الثوريوم :

ذكرنا أن المواد الانشطارية هى اليورانيوم ٢٣٥ والبلوتونيوم ٢٣٩ واليورانيوم ٢٣٣ وقد سبق الحديث عن دورة اليورانيوم ٢٣٥ والبلوتونيوم ٢٣٩ وأما اليورانيوم ٢٣٣ فهو كما ذكر سابقا يتولد من الثوريوم ٢٣٢ .

والثوريوم أكثر انتشارا من اليورانيوم فى العالم ويربو باحتياطيه على ثلاثة أضعاف احتياطي اليورانيوم ويمكن توليد اليورانيوم ٢٣٣ من الثوريوم فى مفاعلات حرارية يوضع فيها الثوريوم كدثار ويتحول تدريجيا إلى يورانيوم ٢٣٣ ويستخدم اليورانيوم ٢٣٥ أو البلوثونيوم كوقود لهـذه المفاعلات وبعد معالجة الوقود المحترق يمكن فصل اليورانيوم ٢٣٣ واستخدامه في مفاعلات أخرى وجدول (٣) يحتوى على أمثلة من هذه المفاعلات :



رسم تخطيطي لدورة الوقود

دورة الوقود (شكل ١٦)

جدول (٣)

مكان المفاعل	قدرة المفاعل	المهدىء	نسبة التزويد لليورانيوم	الحجم الحرج	تحميل القلب
نيويورك (أمريكا) ١٩٦٠	٥٨٥ ميجاوات	ماء خفيف	٩٠٪	٦٠٥ كجم أكسيد يورانيوم ٢٣٥	٢ر١ طن أكسيد يورانيوم ٢٣٥ + ١٨ طن أكسيد نورانيوم
مينيسونا (أمريكا) ١٩٦١	٢ر٥٨ ميجاوات	ماء خفيف	٩٣٪	١٢٧ كجم يورانيوم ٢٣٥	٢٠٩ كجم أكسيد يورانيوم ٥ر٤ طن أكسيد ثورانيوم

مفاعلات القوى

منذ أن أمكن استئناس الطاقة الذرية والعالم يتجه إليها كوسيلة لسد حاجته المتزايدة من الطاقة على مر السنين، تلك الحاجة التي ينتظر أن تعجز عن سدها الوسائل المتعارف عليها مثل حرق الفحم والزيت، واعتبر نجاح الاتحاد السوفيتى فى إنشاء محطة قوى نووية سنة ١٩٥٥ نصراً عالمياً كبيرا وأعدت البرامج فى الدول المختلفة وتم فى السنوات الثلاث التي أعقبت إنشاء المفاعل السوفيتى إنشاء مالا يقل عن ثلاثة عشر مفاعلا نوويا من مفاعلات القوى لتوليد الكهرباء والاستفادة بها عمليا، من تلك المفاعلات ثلاثة فى «كالدار هدل» (انجلترا) وثمانية فى الولايات المتحدة وواحد فى الاتحاد السوفيتي وآخر فى فرنسا والقوة الكهربائية الناتجة من تلك المفاعلات لا تقل عن مائتى ميجاوات وأعطت هذه المحطات فعلا طاقة قدرها بضع مئات ملايين كيلووات ساعة فى سنتى ١٩٥٧، ١٩٥٨ .

ويشمل برنامج المملكة المتحدة البريطانية إنشاء محطة قوى نووية فى « برادول » على بعد خمسة وأربعين ميلا من لندن قدرتها

٣٠٠ مليون وات، ومحطة أخرى قدرتها ٢٧٥ مليون وات فى بركلي بين بريستول وجلوستر (انظر جدل ٢ فى الباب السابع) ومحطة ثالثة فى «هنترستون» بالقرب من جلاسجو قدرتها ٣٠٠ مليون ورابعة في هنكلى قدرتها ٥٠٠ مليون وجميع هذه المحطات تعتمد على اليورانيوم الطبيعي كوقود والجرافيت كمهدىء وثاني أكسيد الكربون كمبرد ، ويرى الخبراء البريطانيون أن إنتاج الكهرباء من محطة هنكلى سيكون من الناحية الاقتصادية كإنتاجها في بريطانيا من المحطات التى تعتمد على وقود الفحم فى المناطق النائية ، أما الولايات المتحدة فيشمل برنامجها إنشاء محطة قدرتها ٢٧٥ مليون وات في شمال نيويورك وعلى بعد ٢٤ ميلا منها يستخدم منها مخلوط من الثوريوم واليورانيوم كوقود كما يستخدم الماء المضغوط كمبرد ويشمل برنامجها أيضاً محطة أخرى قدرتها ١٣٠ مليون وات في ماساشوستس والثالثة تقام في درسدن قدرتها ١٨٠ مليون ، والرابعة فى دترويست ومفاعلها من النوع السريع الذى يستفاد منه فى إنتاج الوقود الصناعي ، وفى الاتحاد السوفيتي تقام محطة وقودها اليورانيوم المزود والمهدىء الجرافيت والمبرد هو البخار ذو الضغط العالى وقدرة هذه المحطة ٤٠٠ مليون ، كما يجرى إنشاء محطتين أخريين تعتمدان على وقود

اليورانيوم المتردد (١٫٥ ٪) قدرة كل منها ٢١٠ مليون وذلك علاوة على مفاعلات قوى صغيرة تستخدم فى المناطق التى لا توجد فيها مصادر أخرى للطاقة .

وتتخصص كندا فى بناء محطات القوى التى يستخدم فيها الماء الثقيل كمهدىء واليورانيوم الطبيعي كوقود .

وتهتم فرنسا بإنتاج البلوتونيوم علاوة على إنتاج القوى وتستعين إيطاليا بالبنك الدولى لإقامة محطة نووية لتوليد الكهرباء فى الجنوب وهى على نمط كالدرهول كما تنشىء محطة أخرى على نمط محطة درسدن الأمريكية .

أما الهند فتهدف إلى التحول في مدى خمس عشر سنة إلى وقود اليورانيوم ٢٣٣ للانتفاع بما لديها من مونازيت يستخدم مابه من الثوريوم في إنتاج قدرة كهربائية لا تقل عن مليون كيلووات فى سنة ١٩٦٥ .

وتبنى تشكوسلوفاكيا محطة تستخدم فيها اليورانيوم الطبيعي كوقود والماء الثقيل كمهدىء وثاني أكسيد الكربون كمبرد .

وتتجه الجمهورية العربية المتحدة لبناء مفاعل قوى قدرته نحو ١٠٠ مليون وات معتمدة على الخبرة العالمية المكتسبة لتدخل ميدان القوة النووية نظراً لاحتياجها إلى هذا النوع من المحطات

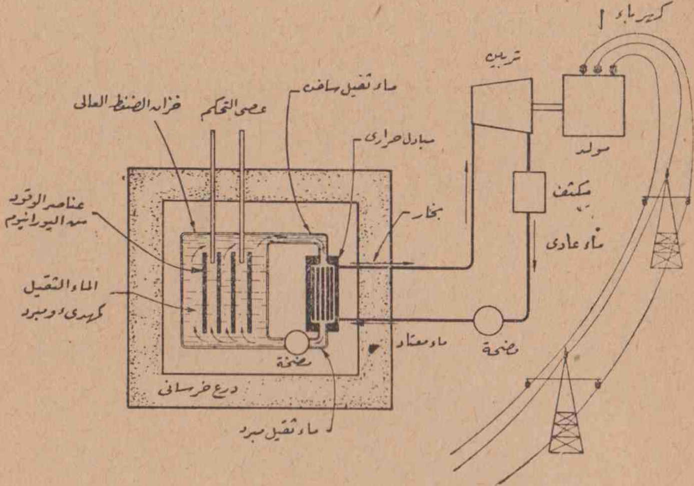
النووية علاوة على المحطات العادية التى تبنيها لتسد احتياجات الصناعة المتزايدة .

وصف مفاعل القوى :

يمر المبرد على وقود المفاعل فترتفع درجة حرارته وهذه الحرارة المكتسبة تستخدم فى تسخين الماء المعتاد الذى يمر فى مبادل حرارى فيتبخر ويدير تربينات تولد الكهرباء فكل مايستفاد منه في هذه الحالة من المفاعل هو الحرارة كما في شكل (١٧) وفيه توضع عناصر الوقود من اليورانيوم فى المهدىء وهو يتكون من الماء الثقيل ويعمل فى نفس الوقت مبردا فترتفع درجة حرارته ويمر إلى المبادل الحرارى حيث تنزع منه حرارته وتستخدم فى تسخين كمية الماء المارة فى المبادل الحرارى ثم يعود مرة أخرى إلى الخزان ، وأما الماء المعتاد الذى يمر فى المبادل فيتحول إلى بخار بعد ارتفاع درجة حرارته ويمر إلى تربين يدير مولد الكهرباء ثم يعود إلى المكثف ثم إلى المضخة وإلى المبادل مرة أخرى وبهذه الطريقة تتكون الكهرباء

مفاعلات القوى لخدمة الأغراض المختلفة :

لا يقتصر استعمال مفاعلات القوى على توليد الكهرباء فهي



مفاعل قوى لتوليد الكهرباء

(شكل ١٧)

تستخدم فى تسيير الغواصات ومن بينها تونيلوس الأمريكية وهى أول غواصة سارت بالطاقة النووية والسفينة لنين محطمة الجليد الروسية وحمولتها ١٦,٠٠٠ طن وسافانا وهى سفينة تجارية أمريكية حمولتها ٨٢١,٠٠٠ طن يستخدم فيها مفاعل قدرته الحرارية ٦٨ مليون وات .

وليس تسيير السفن والغواصات بالطاقة النووية اقتصاديا ولكن ما تحتويه من مميزات قد يبرر تضحية الناحية الاقتصادية فى سبيلها ، فالغواصات مثلا ، يبيح تسييرها بالوقود النووى بقاءها مغمورة تحت سطح الماء مدة أطول ، فقد نجحت الغواصة نوتيلوس فى المرور تحت جليد القطب الشمالى والسبب فى نجاحها هو الوقود النووى ، كذلك تحتاج محطات الجليد إلى الاكتفاء الذاتى وتقدر قدرته بنحو سنة تقريبا .

ويمكن كذلك استخدام مفاعلات القوى للتدفئة ، كما يتضح فى مشروع المفاعلات فى استكهولم وزيورخ .

الإندماج النووى

حين تندمج بعض نوى نظائر الأيدروجين مثل الديوترون أو التريتون مكونة نواة الهليوم تنبعث طاقة كبيرة ومثل هذا التفاعل الاندماجى يحدث فى الشمس والنجوم المضيئة بذاتها ويستلزم حدوث هذا الاندماج ارتفاعا كبيراً فى درجة الحرارة وقد أمكن إحداثه فى القنبلة الأيدروجينية ولكن الطاقة الاندماجية لم تستأنس بعد ولم يستطع الإنسان أن يسيطر عليها كما استطاع السيطرة علي الطاقة الانشطارية بالتحكم فيها وتوليد الكهرباء منها ، ويرجع إذاعة سر البحوث فى هذا الموضوع إلي سنة ١٩٥٦ حين ألقى العالم السوفيتى كورتشاتوف فى هيئة الطاقة الذرية االبريطانية بهارول محاضرة أشار فيها إلى التفاعل الاندماجى الناشئ من رفع درجة الحرارة لمواد الاندماج .

ويحدث هذا الاندماج إذا اتحد ديوترونان وتتكون من اتحادهما نواة الهليوم ٣ وينطلق نترون أو يتكون تريتون وينطلق بروتون ، أما إذا حدث الاندماج بين تريتونين فينطلق

ترون ويتكون الهليوم ٤ ، وفى كل هذه التفاعلات تكون كتلة النواتج أصغر من كتلة النوى الداخلة فى التفاعل وفرق الكتلة يتحول إلى طاقة تفوق طاقة انشطار اليورانيوم ، ولذا ازداد اهتمام العالم بالاندماج وطاقته فضلا عن أن معين هذه الطاقة لا ينضب إذ يعتمد على الماء ، كما أن هذه الطاقة خالية من المشاكل المعقدة للمخلفات المشعة التى هى مشكلة المشاكل بالنسبة للطاقة الانشطارية .

ضرورة ارتفاع درجة الحرارة لإحداث الاندماج .

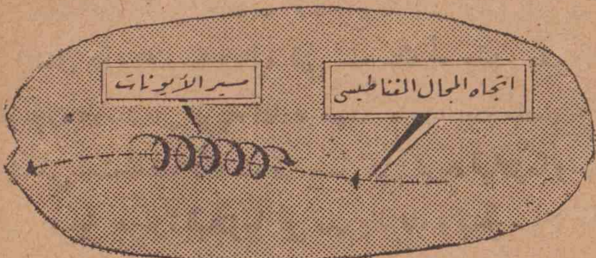
ولاجل أن يحدث هـذا الاندماج وجب أن ترتفع درجة حرارة المواد الداخلة فى التفاعل (الديوترونات والتريتونات الموجبة الشحنة) ارتفاعا كبيراً إلى أن تصبح الجسيمات فى حالة أشبه بالغازية تتحرك بسرعة كبيرة حتى تتصادم بعضها مع بعض وتتقارب لدرجة تسمح بحدوث الاندماج وتقدر درجة الحرارة هذه بمئات الملايين من الدرجات ، فاندماج الديوتريونات يقتضى أن تصل درجة الحرارة إلى ٥٠٠ مليون درجة ، واندماج الديوتريوم بالتريتيوم يقتضى الوصول إلى درجة ٢٥٠ مليون ، وفى هذه الحالة تتفكك ذرات الديوترونات والتريتونات بحيث

تتجرد النوى عن الالكترونات وتصبح لدينا أيونات موجبة والكترونات سالبة وتسمى المادة فى هذه الحالة بالبلازما وكأنها حالة رابعة من أحوال المادة تغاير أحوالها الثلاثة المعروفة إن كان لها مثال مما هو حادث فى الشمس وفى النجوم فلم يكن لها من مثل شبيه أو نظير من الظواهر التى تحدث على سطح الأرض .

الوعاء المغناطيسى :

ولما كان يلزم رفع درجة حرارة البلازما إلى ملايين الدرجات حتى يتسنى حدوث الاندماج ، فاى وعاء إذن يمكن أن يحتمل هذه الدرجة العالية التى تبلغ مائة أو مائتى مليون من الدرجات ،لاشك أن الوعاء المادى مهما كانت المادة المصنوع منها لا يمكن استخدامه لأنه سوف يعمل علي تبريد البلازما وسوف تعمل درجة حرارة البلازما على صهر الوعاء وتبخيره فلا مناص إذن من استخدام وعاء من غير مادة — مجرد مجال مغناطيسى شدته نحو ١٠٠٫٠٠٠ جاوس هذا هو الوعاء الذى يستطيع أن يحفظ البلازما بما فيها من الكترونات وأيونات،ولكن المجال المغناطيسى ليس وعاء تاما فجسيمات البلازما سوف تصطدم بعضها

بعض وكلما حدث مثل هذا التصادم ارتدت الجسيمات عن المجال المغناطيسى بمقدار صغير يساوى حجم دائرة الجسيم وبعد عدة تصادمات يستطيع الجسيم أن يتسرب إلى الوعاء المادى ولكن الوعاء المغناطيسى إذا كان قويا فإن مثل هذا التسرب لا يعتد به ، كما أن الجسيمات المشحونة نفسها يتولد بسببها مجال مغناطيسى ومجال كهربائى قد تعمل علي زحزحة البلازما عن الوعاء المغناطيسى وتتحرك الأيونات فى دائرة عمودية على اتجاه خطوط القوى المغناطيسية ولذا تدور فى حركة حلزونية كما فى (شكل ١٨)



(شكل ١٨)

وإذا فرض أن البلازما تتكون داخل أنبوبة إسطوانية أو أنبوبة على شكل حلقة مستديرة وجعل من حول الإناء

ملف لولبي يمر فيه تيار كهربائي فإن البلازما تنكمش عند محور الملف بعيدة عن جدران الإناء بفعل المجال المغناطيسى .

ظاهرة القرص .

ويمكن إنتاج البلازما بوضع الديوتيريوم فى أنبوبة تفريغ كهربية ، وعندما ينطلق التيار الكهربائى داخل الأنبوبة يسخن الديوتيرم وتتفكك الالكترونات والنوى وتتقلص ذرات الغاز فى عمود صغير ويحدث هذا التقلص نتيجة للمجال المغناطيسى الناشئ من مرور الكهرباء فى الغاز فتنعصر البلازما فى عمود رفيع وتسمي هذه الظاهرة بظاهرة القرص (Pinch effect) وكان من المعتقد أن هذا القرص وسيلة مجدية لتحديد البلازما اللازمة للاندماج وقد لاحظ الدكتور بيكر من بركلي بأمريكا هذه الظاهرة فى سنة ١٩٤٨ فى تجربة لم يكن هدفها الاندماج النووى وقد بدأ الدكتور بيكر وآخرون فى بحوث علي هذه الظاهرة فى سنة ١٩٥٢ مستهدفين بذلك الإفادة منها فى الاندماج النووى ولاحظ ظهور نيوترونات ودرس الموضوع تفصيلا وعرف السبب فى خروج النيوترونات

وأوضحت التجربة أن القرص المغناطيسى البسيط ليس وسيلة ممكنة للحصول على القوى الأندماجية .

وسائل رفع درجة الحرارة :

يمكن رفع درجة حرارة البلازما بواسطة المجال الكهربائى والبلازما تتكون فى هذه الحالة بواسطة تأيين الغازات فى القارورة المغناطيسية إذا مر المجال الكهربائى موازيا للمجال المغناطيسى ويسمى التسخين بهذه الطريقة بالتسخين الأومي ويمكن توليد المجال الكهربى بجعل البلازما دائرة ثانوية فى محول كهربائي نابض وهذه الطريقة تصلح لرفع درجة الحرارة أكثر من مليون درجة ويمكن كذلك تسخين البلازما بفعل مجال مغناطيسي متذبذب وتسمى هذه العملية بالضخ المغناطيسى ويشبه هذا الفعل بفعل المكبس فى المضخة المعتادة ويمكن التسخين بفعل الاهتزازات الكهربائية ذات التردد العالي حيث تحدث هذه الاهتزازات تيارات تأثيرية يحدث من جرائها التسخين .

زمن الاحتواء :

ويعتمد الزمن الذى يلزم أن تبقى خلاله البلازما إلي أن

يحدث الاندماج على كثافة البلازما وصل هذا الزمن إلى ثانية أو أكثر إذا وصلت كثافة البلازما إلى النهاية العظمي التى يمكن للمجال المغناطيسى أن يمسكها وبمعنى آخر فإن المفاعل الاندماجي الناجح يلزم أن يحتوى البلازما لمدة ثانية أو أكثر .

ويمكن تقصير زمن الاحتواء ليسمح بالاندماج إذا زيد المجال المغناطيسى كثيراً عن ١٠٠,٠٠٠ جاوس .

الصعوبات أمام تحقيق الطاقة الاندماجية

أهم مشكلة تواجه الطاقة الاندماجية هى مشكلة الوعاء فكل المواد المعروفة تتبخر عند درجة حرارة البلازما والقارورة المغناطيسية هى الوسيلة لتعليق البلازما داخل الوعاء المادى ومنعها من الهروب إليه وتواجه هذه القارورة المغناطيسية مشكلة عدم استقرار البلازما نفسها والسبب فى عدم الاستقرار هذا لازال غامضاً ، هل يرجع إلى طبيعة البلازما نفسها أو لسبب المجالات المغناطيسية والكهربائية المستخدمة ؟

وإذا أمكن التغلب على هذه الصعوبة فسوف تنتج مشكلات أخرى هندسية وتكنولوجية ومشكلة الحصول على مواد تقوى على تحمل درجات الحرارة العالية مددا أطول ومشكلة الوسائل الآلية التى يلزم توفرها للعمل من بعيد .

اما الحصول على مجال مغناطيسى كبير فلم يعد مشكلة حيث المقدار المطلوب هو ١٠٠٠٠٠ر١٠٠ جاوس وقد تمكن العالم الروسى كابيتزا من الوصول إلى ٤٠٠٠٠٠ر٤٠٠ جاوس حينما كان يعمل في انجلترا .

صعوبة أخرى عند دراسة التفاعلات النوية الحرارية هى ما يسمونه بالتشخيص وهو معرفة ما يجرى في البلازما فعند درجات الحرارة العالية لا تشع البلازما ضوءا وبذا يتعذر الاكتشاف والتشخيص بالطرق العادية ولكن البلازما تشع أمواجا غاية في القصر مما يستلزم استخدام وسائل هذه الأمواج في دراسة البلازما فتبعث شعاعا من أمواج متناهية القصر داخل البلازما وعندما يخرج الشعاع من الجهة الأخرى يكون مشوها ودرجة التشويه تبين لنا ما يحدث داخل البلازما.

ولكن الأمل كبير في التغلب على الصعوبات والحصول على طاقة أكبر حجما من الطاقة الانشطارية حيث المواد الأولية موجودة وتكفي العالم ألف مليون سنة فالديوتيريوم يمثل جزءا من ستة آلاف من مياه الأرض .

المكتبة الثقافية

تحقق اشتراكية الثقافة

صدر منها للآن

٣٧ — الفضاء الكونى ... ... للدكتور محمد جمال الدين الفندى
٣٨ — طاغور شاعر الحب والسلام للدكتور شكرى محمد عياد
٣٩ — قضية الجلاء عن مصر ... للدكتور عبد العزيز رفاعى
٤٠ — الخضراوات وقيمتها الغذائية والطبية للدكتور عز الدين فراج
٤١ — العدالة الاجتماعية ... ... للأستاذ المستشار عبد الرحمن نصير
٤٢ — السينما والمجتمع ... ... للأستاذ محمد حلمى سليمان
٤٣ — العرب والحضارة الأوربية للأستاذ محمد مفيد الشوباشى
٤٤ الأسرة فى المجتمع المصرى القديم للدكتور عبد العزيز صالح
٤٥ — صراع على أرض الميعاد ... للأستاذ محمد عطا
٤٦ — روّاد الوعى الإنسانى ... للدكتور عثمان أمين
٤٧ — من الذرة إلى الطاقة ... للدكتور جمال الدين نوح

الثمن قرشان فقط

المكتبة الثقافية

مكتبة جامعة لكل أنواع المعرفة

فاحرص على ما فاتك منها ...

واطلبه من :

١ ــ دار القلم ... ... ١٨ شارع سوق التوفيقية بالقاهرة

٢ ــ مكاتب شركة توزيع الأخبار ... ... فى الإقليم المصرى

٣ ــ وكلاء الشركة القومية ... ... في جميع البلاد العربية

٤ ــ مكتبة المثنى ... ... بغداد ــ العراق

٥ ــ الشركة القومية للنشر والتوزيع ... ... تونس

٦ ــ مكتبة الندوة ... ... أم درمان ــ السودان